

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО"

Мошинська Аліна Валентинівна

УДК 621.391.1

**СТРАТЕГІЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Спеціальність 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ-2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України на кафедрі телекомунікаційних систем.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Уривський Леонід Олександрович
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри
 телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
 співробітник
Войтер Анатолій Петрович
 Інститут ядерних досліджень НАН України,
 заступник директора;

доктор технічних наук, професор
Козловський Валерій Валерійович
 Національний авіаційний університет,
 перший проректор;

доктор технічних наук, професор
Лемешко Олександр Віталійович
 Харківський національний університет
 радіоелектроніки, завідувач кафедри
 інфокомунікаційної інженерії
 ім. В.В. Поповського.

Захист дисертації відбудеться «21» вересня 2020 р. о 15 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.002.14 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37, 1 корпус, ауд. 255).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, просп. Перемоги, 37, НТБ).

Автореферат розісланий «30» травня 2020 р.

*В.о. Вченого секретаря
 спеціалізованої вченої ради
 д.т.н., проф.*

Жук С.Я.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Глобалізація інформаційного суспільства характеризується стрімким зростанням його інформаційних потреб. Всеосяжна цифровізація переданих повідомлень, високі швидкості передачі, мультисервісність інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТКС) є невід'ємними принципами засобів обміну інформацією.

Незалежний розвиток наукового знання в таких класичних теоріях, як теорія завадостійкості, теорія кодування і теорія інформації не дозволило цим теоріям стати фундаментальним базисом при створенні телекомунікаційних систем і технологій.

Вперше в рамках прикладної теорії інформації для телекомунікацій вони об'єднані в єдиний комплекс і стали надійною основою фундаментальних наукових досліджень в галузі телекомунікацій.

З одного боку, оцінка якості та ефективності сучасних телекомунікаційних технологій побудовані на фактично виміряних швидкостях, кількості помилок в блоках, доходах та витратах.

Ці методи оцінки переважно евристичні. Методики, пов'язані з різними телекомунікаційними технологіями (мобільними, радіорелейними, супутниковими, волоконно-оптичними), побудовані на специфічних показниках, які не є універсальними. Вони не спираються на фундаментальну науку.

Тому, актуальною є задача пошуку об'єднаної концепції для відомих і перспективних технологій, пов'язаних з фундаментальним знанням (теорії інформації, теорії завадостійкості, теорії кодування), не втративши при цьому, напрацьованих специфічних особливостей відповідних методик.

З іншого боку, призначені для користувача технології (сервіси), як продукт інформаційної сфери, диктують телекомунікаційній сфері (яка обслуговує інформаційну сферу) нові вимоги. Їх головною особливістю є екстремальний характер показників телекомунікаційної інфраструктури: багато, швидко, достовірно. До сих пір ці вимоги розглядалися, як суперечливі і водночас не досяжні. Відповідно, в інформаційному співтоваристві існує суперечність між потребами користувачів (сценаріями послуг для передачі інформації) і ресурсами, які можуть надати засоби доставки послуг - телекомунікації - для реалізації таких сценаріїв.

Актуальною постає задача наукового обґрунтування процедур встановлення відповідності між комплексами вимог (Сценаріями) і способами забезпечення своєчасної та достовірної передачі масивів мультисервісної інформації (Стратегіями).

Проблема полягає в тому, що обидві задачі пов'язані через показники інформаційної ефективності (за принципом відповідності в просторі інформаційних запитів і телекомунікаційних можливостей), проте, до цих пір таке завдання не ставилося і не вирішувалося.

Слід зазначити, що в напрямку вирішення даного протиріччя працює багато наукових шкіл і вчених, наприклад, Зайченко О.Ю., в рамках завдань аналізу і оптимізації телекомунікаційних технологій, Лемешко О.В., в рамках завдань оптимізації та якості інфокомунікацій, Банкет В.Л., в рамках завдань завадостійкості і ефективності систем телекомунікацій. Серед зарубіжних вчених, які працюють над завданнями ефективного використання ресурсів телекомунікацій виступають Р. Галагер, Р.Л. Стратанович, Р. Ленерт та інші.

Сучасне уявлення про діючі та перспективні телекомунікації базується на 7-рівневій моделі OSI.

На вершині цієї пірамідальної моделі розташований рівень застосувань – потреб суспільства в інформаційних послугах (ІП). Сукупність вимог з надання ІП, що пред'являються до конкретної ІТКС, назовемо **Сценарієм**. Однак об'єктивні обмеження за обсягом наданих ресурсів, технологічних досягнень можуть бути перешкодою до реалізації всіх пред'явлених в Сценарії ІП. Потенційно реалізовану сукупність ІП будемо називати **Сценарної концепцією** (СК), що розглядається ІТКС.

Рівень уявлень формалізує відповідність характеристик ІП з параметрами ІТКС.

Через протоколи сеансового рівня, мережеву інфраструктуру транспортного і мережевого рівнів, протоколи доступу користувачів до ІТКС канального рівня модель OSI звертається до основи піраміди - фізичного рівня, на який покладено завдання забезпечення потреб усіх вищевказаних рівнів за показниками продуктивності (досягнутих обсягів переданої інформації) та достовірності переданої інформації.

Отже, при виконанні завдань фізичного рівня необхідно врахувати всю сукупність потенційних вимог вищих рівнів, визначивши доцільні види зв'язку, фізичне середовище передачі, роду зв'язку, способи перетворення інформаційних потоків в вихідні електричні сигнали і далі - в сигнали в середовищі передачі, а також способи обробки прийнятих сигналів для досягнення необхідних показників продуктивності та достовірності.

Прийняті відповідно до Сценарної концепції рішення по реалізації функцій ІТКС на фізичному рівні назовемо Телекомунікаційною стратегією фізичного рівня (ТКС ФУ) даної ІТКС.

В цілому робота присвячена методології формування Телекомунікаційних стратегій ФУ на основі різноманітних Сценарних концепцій діючих і перспективних ІТКС.

В роботі проведено теоретичні дослідження телекомунікаційних систем і мереж на базі радіорелейних, супутникових, тропосферних, волоконно-оптичних і кабельних ліній електрозв'язку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота була виконана на кафедрі телекомунікаційних систем в Інституті телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у межах наступних наукових тем та проектів:

НДР № 0114U006305 «Оцінка стану розробки станції радіорелейного зв'язку з заводозахисним багатофункціональним модемом»;

НДР № 0113U002491 «Синтез та конструктивна реалізація сигнально-кодових конструкцій в каналах з багатопозиційною маніпуляцією в системах супутникового та радіорелейного зв'язку»;

НДР № 0115U000259 «Розробка уніфікованого пристрою заводостійкої передачі інформації у високошвидкісних каналах радіорелейного та супутникового зв'язку»;

НДР № 0116U004885 «Дослідження характеристик сучасних цифрових станцій радіорелейного зв'язку на основі стандарту IEEE 802.11ac та рекомендації щодо їх покращення»;

НДР № 0117U004282 «Методи та системи управління безпроводовими сенсорними мережами із мобільними сенсорами, телекомунікаційними наземними вузлами та аероплатформами у зоні надзвичайної ситуації»

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи виступає розроблення ефективних методів розподілу інформації в телекомунікаційних системах і мережах зв'язку на основі встановлення відповідності між комплексами вимог (Сценаріями) і способами забезпечення своєчасної та достовірної передачі масивів мультисервісної інформації (Стратегіями) на основі критерію інформаційної ефективності з метою максимально продуктивного використання телекомунікаційних ресурсів в процесах передачі інформаційних потоків.

Відповідно до мети, основними завданнями дослідження є:

1. Створення методології трансформації інформаційних Сценаріїв прикладного рівня в фундаментальні Стратегії фізичного рівня;
2. Обґрунтування критерію інформаційної ефективності як інструменту оптимізації умов відповідності між мультисервісними Сценаріями і Стратегіями передачі інформації в телекомунікаційних системах;
3. Розробка методів і методик досягнення максимумів продуктивності в умовах обмежень, що задаються обраними Сценаріями;
4. Оцінка якості передачі інформації в мультисервісних системах на основі гармонізації фундаментальної теорії і сучасних стандартів телекомунікацій;
5. Визначення шляхів реалізації вимог до продуктивності та якості обслуговування в мультисервісних сценаріях на основі обраних стратегій передачі інформації;
6. Оцінка інформаційної ефективності сформованих Стратегій передачі інформації в мультисервісних системах при реалізації відповідних мультисервісних Сценаріїв.

Об'єкт дослідження – мультисервісна телекомунікаційна система.

Предмет дослідження – стратегії передачі інформації в мультисервісних телекомунікаційних системах відповідно до сформованих Сценаріїв на фізичному рівні.

Методи дослідження. Методи математичного аналізу, теорія системного аналізу, теорія інформації, теорія потенційної завадостійкості, теорія оптимізації, математична статистика, методи і методики імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розробка методології встановлення умов відповідності між мультисервісними сценаріями і стратегіями передачі інформації в телекомунікаційних системах на основі оптимального поєднання процесів передачі інформації, що відрізняється від відомих результатів тим, що методологія об'єднує в собі наскрізну послідовність способів і методик, що охоплюють всі рівні моделі OSI.

2. Встановлення умов досягнення екстремумів продуктивності на фізичному рівні в каналах систем зв'язку, які відрізняються від відомих результатів тим, що умови визначені на основі вибору оптимальної швидкості передачі інформації за умови досягнення необхідної достовірності.

3. Встановлення умов досягнення екстремумів продуктивності на фізичному рівні в каналах систем зв'язку, які відрізняються від відомих результатів тим, що умови визначені на основі вибору оптимальних енергетичних умов передачі інформації на основі використання оптимального поєднання модуляційних властивостей сигналів і засобів завадостійкого кодування.

4. Розроблення методів підвищення пропускної здатності систем передавання повідомлень у каналах зв'язку, які відрізняються від відомих результатів тим, що умови визначені на основі вибору оптимальних енергетичних умов передачі інформації та на основі використання оптимального поєднання модуляційних властивостей сигналів і засобів завадостійкого кодування.

5. Розробка уніфікованої методики оцінки показників якості зв'язку в мультисервісних системах зв'язку, що відрізняється від існуючих методик тим, що методика дозволяє відобразити результати інструментальної оцінки якості цифрових каналів зв'язку за діючими міжнародними стандартами в структурі показників класичної теорії завадостійкості.

6. Імплементация критерію інформаційної ефективності через модифікований показник в однокритеріальній багатопараметричній задачі оптимізації процедур використання телекомунікаційних ресурсів для досягнення максимальної продуктивності мультисервісних систем зв'язку, що відрізняється від відомих результатів тим, що максимізація показника інформаційної ефективності досягається за умови забезпечення заданих показників достовірності та своєчасності передачі інформації.

Практичне значення результатів.

Прикладним аспектом дослідження є розробка способів управління параметрами ІТКС:

- для досягнення максимального наближення продуктивності до пропускної здатності досліджуваних каналів зв'язку при заданих фізичних ресурсах систем зв'язку або

- для досягнення максимальної продуктивності каналу на основі потенційної динаміки фізичних ресурсів ІТКС при відомих обмеженнях на ці ресурси.

В роботі представлені результати по організації транспортної компоненти мережі виду точка-точка із використанням засобів передавання інформації на основі стандартів IEEE 802.11xx, ретрансляції сигналу на основі кількох ліній точка-точка, і розподілом потоків інформації в точках ретрансляції; розробка принципів побудови багаторівневої адаптивної безпроводової сенсорної мережі із мобільними сенсорами.

Апробація отриманих теоретичних результатів та конструктивних реалізацій адаптивних модемів для НВЧ діапазону у телекомунікаційних системах високошвидкісного розподілу інформації здійснюється на виробничій базі ПАТ НПО «ЕЛМІЗ».

Результати дисертаційної роботи можна використовувати для побудови нових стратегій розширення покриття, обслуговування та підтримки нових безпроводових технологій і варіантів використання через платформи (наприклад, для побудови Internet of Things), а також для раціонального використання недослідженого сьогодні спектра.

Особистий внесок здобувача. У дисертаційній роботі результати досліджень [1-38], проведені здобувачем особисто та співробітництві з колегами. Дисертантка брала участь у підготовці та проведенні теоретичних та експериментальних дослідженнях, самостійно проводила комп'ютерне моделювання та опису результатів. Брала участь у поставці завдань досліджень та інтерпретації результатів, теоретичних розрахунках, побудові моделей, в написанні та обговоренні наукових робіт [1-38]. У роботах [1,2,23] особисто дисертанткою були проведені експериментальні дослідження та побудовані моделі передачі інформації для технологій безпроводового зв'язку. Проаналізована та удосконалена методика оцінки ефективності передачі інформації по каналах телекомунікацій. У роботах [4,6,25,29] нею були проведені обробка, моделювання та інтерпретація результатів дослідження інформаційних властивостей супутникових та оптоволоконних систем телекомунікацій на прикладі технологій PES та DWDM. У роботах [5,15,30,31] дисертанткою проведений теоретичний аналіз, розроблена методика оцінки інформаційних можливостей супутникових та оптоволоконних систем телекомунікацій, розроблена методика уніфікованої методики оцінки якості цифрових сигналів в каналах телекомунікацій. В роботах [3,7-14,16-22,24,26-28,32-37] дисертантка брала участь у постановці завдань, у проведенні аналітичних розрахунків та побудові моделей та методик.

Обговорення результатів, формулювання висновків та рекомендації щодо інтерпретації результатів проводилася за участю наукового консультанта, професора Уривського Л.О. та інших співавторів.

Основна частина результатів доповідалася автором особисто на вітчизняних та міжнародних конференціях [26-33,35,36].

Апробація результатів дисертації. Основні результати, викладені в дисертації, доповідались и обговорювались на таких вітчизняних та міжнародних конференціях, як: науково-практичного семінару молодих науковців : Вісник Українського науково-дослідного інституту зв'язку (Київ, Україна, 2010); «Проблеми телекомунікації»: четверта міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-10) (Київ, Україна, 2010); «Проблеми телекомунікації»: п'ята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-11) (Київ, Україна, 2011); «Проблеми телекомунікації»: восьма міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-14) (Київ, Україна, 2014); 22nd Telecommunications Forum TELFOR 2014 (Belgrad, Serbia 2014); «Проблеми телекомунікації»: дев'ята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-15) (Київ, Україна, 2015); «Проблеми телекомунікації»: десята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-16) (Київ, Україна, 2016); International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo) (Київ, Україна, 2016); «Проблеми телекомунікації»: одинадцята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-17) (Київ, Україна, 2017); V International scientific conference «Advanced Information Systems and Technologies» (Львів, Україна, 2017); International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo) (Одеса, Україна, 2017); 4-th International Scientific-Practical Conference Problems of Info-communications Science and Technology (PIC S&T'2017) (Харків, Україна, 2017); «Проблеми телекомунікації»: дванадцята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-18) (Київ, Україна, 2018); 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) (Львів-Славське, Україна, 2018); The Third International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo'2018) (Одеса, Україна, 2018); «Перспективи телекомунікацій»: тринадцята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-19) (Київ, Україна, 2019).

Публікації. Результати досліджень опубліковано у 38 наукових працях, у тому числі в 2 розділах міжнародних колективних монографій, 20 статей у наукових фахових виданнях (з них 11 статей у виданнях іноземних держав, 9 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 1 патент на корисну модель, 15 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, обґрунтування доцільності досліджень та огляду існуючих результатів в обраній проблематиці, 7 розділів оригінальних досліджень, висновку, списку використаних джерел та додатків. Дисертація містить 339 сторінок, із них 298 сторінок основного тексту, 103 рисунків, з них окремо 10 відображено на 10

сторінках, інші вмонтовані до тексту, 36 таблиць, з яких 7 зображено на 7 окремих сторінках, інші вмонтовано до тексту, список використаних джерел із 127 найменувань на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і визначено основні завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, відзначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про особистий внесок здобувача, апробацію наукових результатів, публікації, структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** запропоновано нову концепцію аналізу відповідності інформаційних потреб суспільства та можливостей їх подання за рахунок наявних ресурсів мультисервісних телекомунікаційних систем на основі введення таких категорій, як Сценарій надання інформаційних послуг і телекомунікаційна Стратегія. Завданням формування фундаментальної Стратегії фізичного рівня є визначення сукупності умов для максимального використання наявних ресурсів з метою забезпечення доставки сигналів з необхідною достовірністю і максимально досяжною швидкістю передачі інформаційної компоненти сигнального потоку на фізичному рівні.

Сформовано визначення мультисервісної телекомунікаційної системи, що являє собою універсальну багатоцільове середовище, яка дозволяє надавати користувачам різноманітні послуги зв'язку, що розрізняються як за якісними, так і за кількісними характеристиками.

Будь-яка мультисервісна мережа має в своєму розпорядженні певні ресурси для забезпечення свого функціонування. До ресурсів мережі можна віднести: діапазон і смугу частот каналів зв'язку, енергетику ліній передачі, час, що відводиться на передачу інформації.

Взаємозв'язок ресурсів мережі і кількісної міри інформації виражається інформаційними можливостями мережі, такими як пропускна здатність і продуктивність.

На сьогоднішній день актуальною є задача перерозподілу ресурсів мультисервісної телекомунікаційної мережі в обсязі наданих мережею послуг. Метою перерозподілу ресурсів мережі виступає потреба своєчасного надання мережею всього спектра послуг в залежності до вимог до своєчасності. Сукупність використовуваних послуг одного користувача, групи користувачів, спільноти або суспільства визначає Інформаційний Сценарій передачі інформації.

Інформаційний Сценарій (в даному контексті) - це сукупність інформаційних послуг, які визначаються користувачем (найчастіше без урахування реальних можливостей інформаційного співтовариства щодо їх задоволення). Сценарій містить в собі весь набір послуг (елементів), який

необхідно реалізувати для користувача відповідно до його побажань (наприклад, VoIP і IPTV).

Кожен елемент сценарію має тривимірну структуру:

$$X_i \{ Q_i; \Delta T_i; Sp_i \}, \quad (1)$$

де X_i – i -й елемент сценарію, Q_{Si} – характеристика об'єму інформації, пов'язаний з i -м елементом, T_{Si} – часове обмеження, пов'язане з наданням послуг i -го елемента, Sp_{Si} – просторова характеристика i -го елемента.

На відміну від категорії «Сценарій» Сценарна концепція включає в себе тільки ту частину послуг, заявлених користувачем, яка могла б бути йому надана з урахуванням реальних технологічних і ресурсних можливостей.

Найбільш зрозумілою є позиція, при якій користувач вибирає Сценарну концепцію за ознакою мінімальної відмінності свого бачення сценарію X_j і пропонуваної провайдером Сценарної концепції X_k , а саме:

$$\min \Delta X_{kj} = \{ X_k \} - \{ X_j \}, \quad (2)$$

Імплементація Сценаріїв можлива при використанні сучасних телекомунікаційних технологій, пов'язаних з передачею інформації за допомогою електричних, оптичних, електромагнітних сигналів.

Кінцева мета полягає у виборі способу реального надання послуг, відповідно до Сценарної концепції X_k , тобто до Телекомунікаційної Стратегії TC_k .

Під Стратегією (в даному контексті) слід розуміти сукупність способів передачі інформації (співвіднесені зі Сценарієм), що використовує обґрунтоване поєднання протоколів передачі та засобів перенесення електричних сигналів.

$$Y_i = \Phi \{ X_j \} | \Delta F, E_s \quad (3)$$

$$Y_i = \Phi \left\{ V_{Si} = \frac{Q_j}{\Delta T_j} \leq \Delta F; E_s(V_{Ci}, Sp_j); p_b(E_s, \frac{V_{Si}}{V_{Ci}}) \leq p_{b0} \right\} | \Delta F, E_s \quad (4)$$

Можливість реалізації Сценарію засобами обраної Стратегії для забезпечення надання відповідних послуг залежить від наявного телекомунікаційного ресурсу, а саме:

- енергетики в каналі в точці передачі і пунктах прийому інформації (E);
- смуги (або діапазону) частот (F), наданих для передачі;
- часу, необхідного для передачі інформації від джерела до користувача (T).

Таким чином, інструментом реалізації Сценаріїв передачі інформації є реальні ресурси телекомунікаційної системи (ТКС). Кожна ТКС надає певний протокол передачі інформації, спосіб передачі інформації, енергетику в каналі в залежності від виду зв'язку, заданої якості та обсягу інформації, що передається.

Декомпозицію процесів переходу від сформульованого Сценарію до його реалізації на основі синтезованої Стратегії можна представити у вигляді послідовності переходів, представленої на рис. 1.

Сукупність наявних фізичних ресурсів каналу зв'язку диктуються Інформаційним сценарієм прикладного рівня OSI (через рівень представлень), в той час, як на фізичний рівень моделі покладено вирішення конфлікту між достовірністю і швидкістю передачі повідомлень, які визначають фундамент реалізації заданого Інформаційного сценарію з використанням об'єктів всіх інших рівнів.

Таким чином, при виконанні завдань фізичного рівня необхідно врахувати всю сукупність потенційних вимог вищих рівнів, визначивши доцільні види зв'язку, фізичне середовище передачі, роду зв'язку, способи перетворення інформаційних потоків в вихідні електричні сигнали і далі - в сигнали у середовищі передачі, а також способи обробки прийнятих сигналів для досягнення необхідних показників продуктивності та достовірності.

Пропонується обґрунтування критерію інформаційної ефективності як інструменту оптимізації умов відповідності між мультисервісними Сценаріями і Стратегіями передачі інформації в телекомунікаційних системах.

Проблематика формування інформаційної ефективності заснована, з одного боку, на жорстких вимогах до забезпечення заданої достовірності через показники енергетичного фактору (співвідношення 5-8) і є суперечливими.

$$h^2 = \frac{E}{N_0} = \frac{P_s}{V_c \cdot N_0} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{P_s}{N_0} \quad (6)$$

$$\min p_{OIII} \rightarrow \max h^2 \quad (7)$$

$$\uparrow \max h^2 = \frac{\max P_s \uparrow \uparrow}{\uparrow V_i \cdot N_0} \quad (8)$$

З іншого боку, характеристики Сценарію пов'язані з показниками телекомунікаційного ресурсу. Швидкість необхідно збільшувати при зростанні обсягів переданої інформації і зростанням вимог до своєчасності (формула 9).

$$\boxed{\downarrow \Delta T = \frac{Q \uparrow}{V_s \uparrow \uparrow}} \quad (9)$$

Таким чином, використання інструментів підтримки необхідної достовірності неминуче тягне втрати продуктивності.

$$\eta = \frac{R}{C} = \frac{R}{\Delta F \log_2(1 + h^2)} = \frac{\gamma}{\log_2\left(1 + \frac{\gamma}{\beta}\right)} \quad (10)$$

$$\max_{R, Pb} \left\{ \eta = \frac{R}{C_H} \right\} | \Delta F, h^2 \quad (11)$$

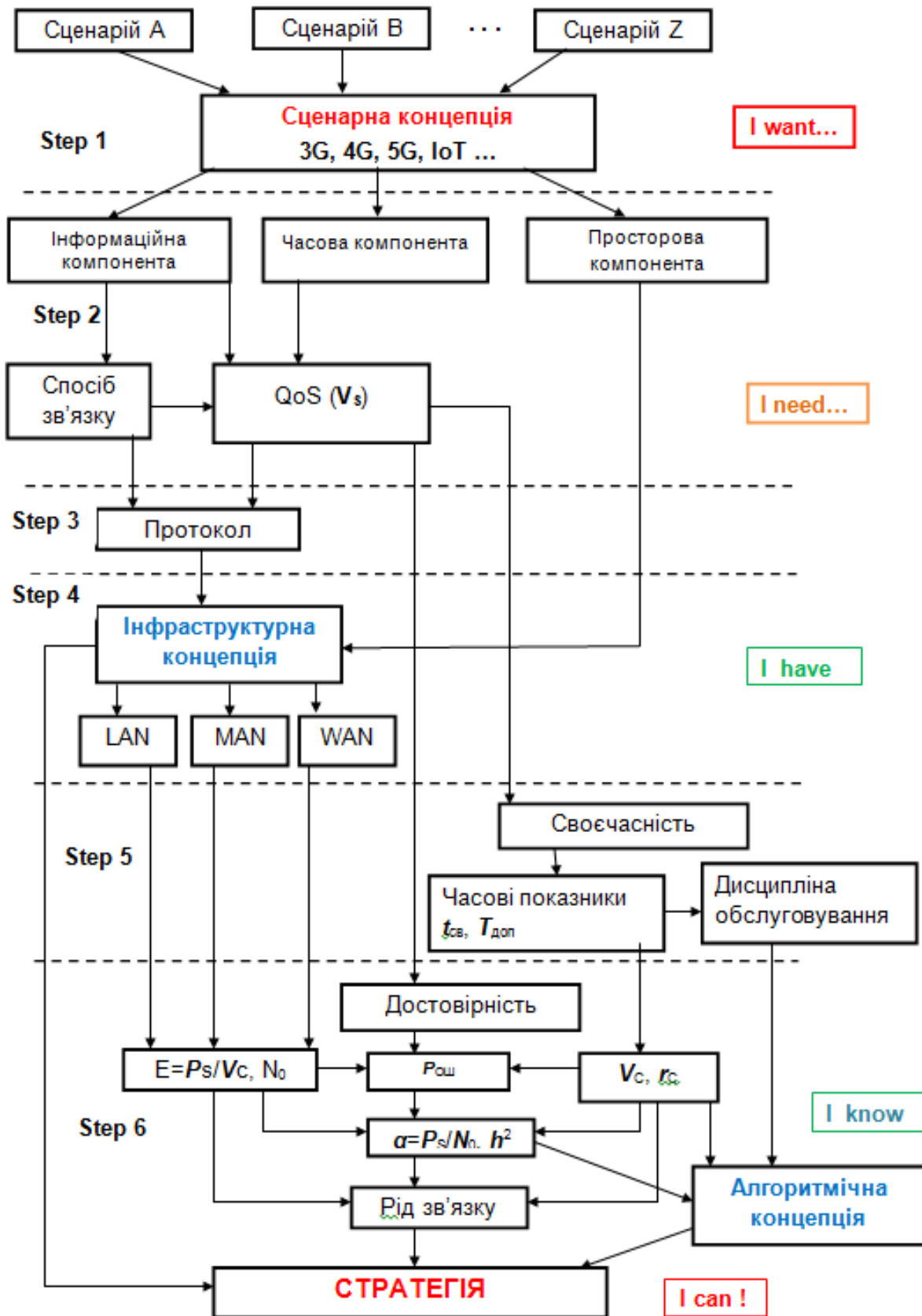


Рис.1. Алгоритм процесу реалізації Сценарій – Стратегія

Запропоновано критерій інформаційної ефективності співвідношення (10-11) який порівнює продуктивність системи, мірою якої є не традиційна швидкість передачі символів в каналі, а швидкість передачі біт джерела інформації з пропускнуою здатністю, як потенційно досяжною при даному наборі фізичних ресурсів продуктивністю.

У **другому розділі** проведена оцінка кількісних показників функціонування мультисервісної телекомунікаційної системи, зокрема, пропускнуої здатності – максимальна швидкість передачі інформації при заданих енергетичних характеристиках каналу зв'язку, та продуктивності – фактична швидкість передачі інформації.

Вперше отримано екстремуми продуктивності мультисервісної телекомунікаційної системи. Аналіз залежностей продуктивності без кодування (рис. 2) сигналів різної кратності маніпуляції показав наявність екстремуму при відповідних енергетичних обставинах в каналі. Варто відмітити, що сигнали QAM-16 є продуктивнішими в точці екстремуму, ніж сигнали QAM-64. Це свідчить про раціональність використання сигналів QAM-64 в малозональних безпроводових системах (наприклад, LTE) на відміну від сигналів QAM-16, які доцільно застосовувати в

крупнозональних безпроводових системах (наприклад, UMTS).

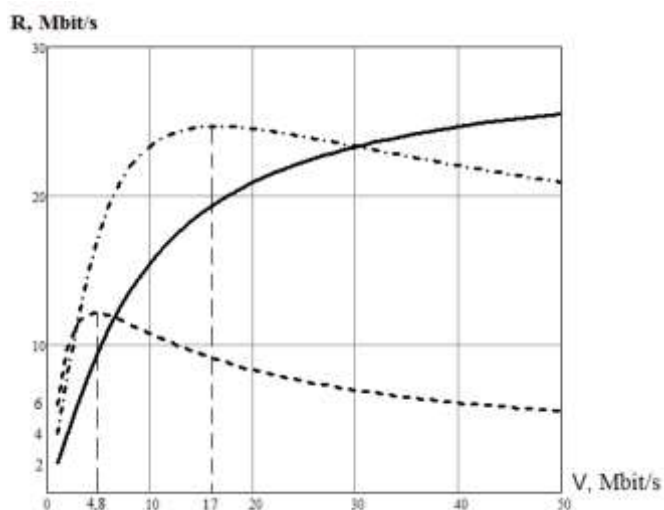


Рис.2. Залежність продуктивності від швидкості передачі символів (— QPSK, --- QAM-16, - - - QAM-64)

При значенні параметра h^2 , коли швидкість передачі символів в каналі зв'язку V_C має значення до 3 Мбіт/с, перевагу по інформаційному насиченню сигналів має QAM-64, але такі сигнали швидко досягають свого максимального значення. Потім найбільшу продуктивність мають сигнали QAM-16. Сигнали QPSK переважають на швидкостях більших 30 Мбіт/с, коли завадостійкість інших сигналів значно послаблюється.

Екстремум продуктивності для сигналів QAM-64 (11,5 Мбіт/с) настає при швидкості $V_C = 4,8$ Мбіт/с, тобто коли $h^2 = 6,7$. У цьому випадку ймовірність бітової помилки рівна $p_b = 0,137$. Максимум продуктивності сигналів QAM-16 (23,5 Мбіт/с) має місце при $V_C = 17$ Мбіт/с, тобто коли $h^2 = 1,9$, а ймовірність бітової помилки рівна $p_b = 0,16$. Тобто, маючи максимальне значення продуктивності, достовірність прийнятої інформації не відповідає вимогам сучасних систем передачі. Параметр $\alpha = 32[\mu\text{с}]^{-1}$ при цьому зберігає своє стале значення.

Оскільки ймовірність бітової помилки збільшується при збільшенні швидкості передачі символів, необхідно використовувати методи підтримання достовірності. У такому випадку, наприклад, при відомих енергетичних ресурсах каналу необхідно застосовувати завадостійке кодування. Параметри блокового коду – довжина блоку n , кількість інформаційних символів k – впливають на значення продуктивності наступним чином:

$$R = V_C \cdot \log_2 M \cdot r_k \cdot [1 + p_b \cdot \log_2 p_b + (1 - p_b) \cdot \log_2 (1 - p_b)], \quad (12)$$

де r_k – швидкість кодування, чисельно рівна відношенню k/n , яке гарантує необхідну достовірність.

Якщо задати вимоги щодо підтримання достовірності передавання біт на виході декодера надлишкового кодування на рівні $p_b = 10^{-6}$, то, у випадку, коли довжина блоку рівна $n=200$ символів, а енергетичний параметр $\alpha = 32[\mu\text{s}]^{-1}$, отримано наступні залежності продуктивності від швидкості передачі символів (рис. 3). Можна бачити, що характер зміни продуктивності при введенні завадостійкого кодування не змінюється по відношенню до продуктивності без кодування. Але характерною особливістю є те, що максимальне значення продуктивності можна досягти при використанні QAM-16.

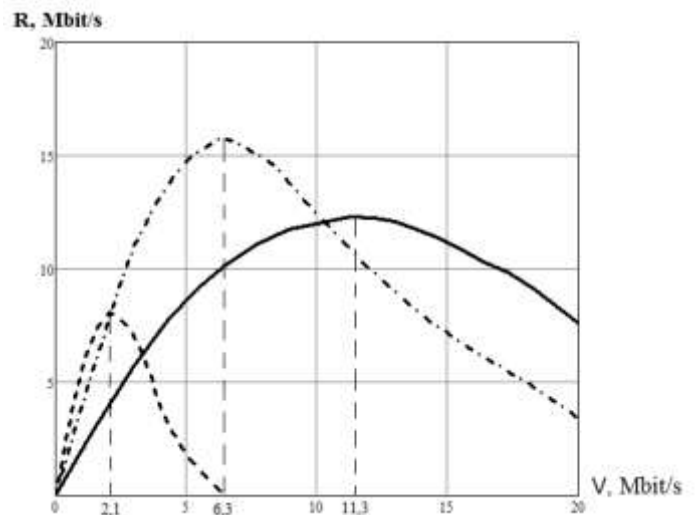


Рис. 3. Продуктивність при використанні завадостійкого кодування (— QPSK, --- QAM-16, - - - QAM-64)

У **третьому розділі** вперше запропонована нова методика оцінки показників якості передачі інформації. Задаючи вихідні данні, а саме швидкість джерела, розмір блоку і ймовірність помилки на біт можна визначити значення показників якості з рекомендації G.826 Міжнародного союзу електрозв'язку, приводячи теоретичні показники завадостійкості до стандартизованих показників достовірності в телекомунікаційних системах.

З метою систематизації співвідношень між різними параметрами якості цифрового сигналу пропонується ієрархія параметрів якості цифрового сигналу, відображена на схемі рис. 4.

На чолі ієрархії знаходиться ключовий параметр класичної теорії завадостійкості – відношення сигнал/шум h^2 . При заданих параметрах цифрового каналу зв'язку відношення сигнал/шум однозначно пов'язане із

ймовірністю помилки на біт p_b . У світовій телекомунікаційній спільноті ймовірністю помилки на біт зазвичай представлена таким параметром, як Віт Error Ratio (англ. коефіцієнт бітових помилок).

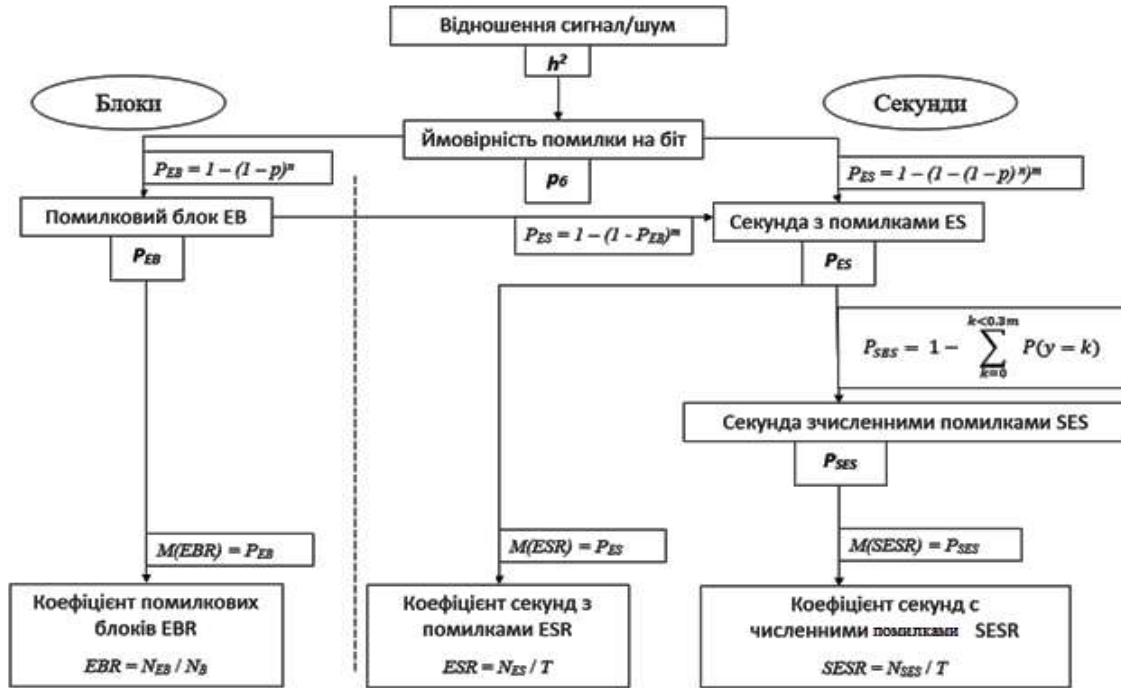


Рис. 4. Ієрархія параметрів якості передачі інформації

Далі згідно з рис.4 через запропоновані у даному розділі аналітичні співвідношення встановлюється зв'язок параметрів класичної теорії завадостійкості із показниками якості передачі інформації в цифрових каналах зв'язку, які застосовуються у сучасних телекомунікаційних стандартах і рекомендаціях. Нижня частина схеми розділена на дві частини.

Перша частина відображає ієрархію блокових помилок: помилкового блоку EB та коефіцієнту помилкових блоків EBR . Згідно із визначенням, коефіцієнт помилкових блоків EBR рівний відношенню кількості помилкових блоків N_{EB} до загальної кількості переданих блоків N_B :

$$EBR = N_{EB} / N_B \quad (13)$$

Як видно зі схеми, ймовірність виникнення помилкового блоку P_{EB} пов'язана із ймовірністю виникнення бітової помилки p_b . Зв'язок між ймовірністю блокової помилки P_{EB} та коефіцієнтом помилкових блоків EBR встановлюється через розуміння того, що в середньому кількість помилкових блоків на заданому інтервалі вимірювання визначається ймовірністю блокової помилки P_{EB} . А середня кількість помилкових блоків відносно загальної кількості переданих блоків за визначенням дає математичне очікування коефіцієнту помилкових блоків EBR , тобто

$$M(EBR) = P_{EB}. \quad (14)$$

Друга частина відображає ієрархію помилок, пов'язаних із наявністю блокових помилок у секундах: секундою з помилками ES та секундою з численними помилками SES , а також відповідними коефіцієнтами ESR та $SESR$.

Згідно із визначенням, коефіцієнт секунд з помилками ESR рівний відношенню кількості секунд із помилками N_{ES} до загальної кількості секунд вимірювання T :

$$ESR = N_{ES} / T, \quad (15)$$

а коефіцієнт секунд з численними помилками $SESR$ - відношенню кількості секунд із численними помилками N_{SES} до загальної кількості секунд вимірювання T :

$$SESR = N_{SES} / T, \quad (16)$$

Встановлено зв'язок між ймовірністю виникнення секунд з помилками P_{ES} та численними помилками P_{SES} і ймовірністю виникнення бітової помилки p_b .

Запропонована ієрархія є графічним представленням методики оцінки якості цифрових сигналів, яка синтезується у даній роботі.

Метою проведення імітаційного моделювання був аналіз поведінки показників якості цифрового каналу зв'язку при різних значеннях таких параметрів, як ймовірність бітової помилки, швидкість передачі та довжина блоку.

У **четвертому розділі** наведено результати побудови стратегій передачі інформації на рівні LAN. Отримані показники інформаційних можливостей, такі як пропускна здатність та продуктивність в мережах LAN з технологією xDSL. Залежності показали, що реалізація пропонує стратегій передачі інформації доцільна при певних енергетичних характеристиках в каналі телекомунікацій, починаючи з $h^2=3$ дБ. При цьому втрати інформаційної складової за рахунок перетворення сигналу та транспортування його по каналу сягає 50% від загального інформаційного ресурсу.

Вид модуляції

QAM-4
QAM-16

Максимальна
продуктивність
4,5 Мбіт/с
6,75 Мбіт/с

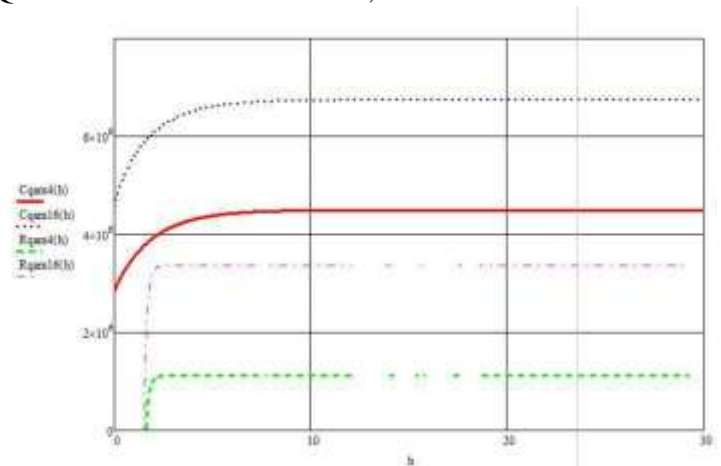


Рис. 5. Залежність C , R від h^2 при модуляції QAM4, QAM16

Пропонуються результати прикладних досліджень бездротового зв'язку PtP, побудованого на обладнанні 802.11n, з метою вивчення алгоритму вибору режиму сигнально-кодових конструкцій (СКК), який працює на основі статистичного аналізу успішно переданих пакетів даних. Метою роботи було

подальше порівняння результатів статистичного аналізу з теоретично обґрунтованими характеристиками енергетичних характеристик зв'язку для визначення ефективності алгоритмів вибору СКК.

Результати проведення прикладного експерименту і дослідження моментів перемикання СКК при зміні умов в каналі зв'язку, представлені в табл. 1, де Pr - рівень сигналу в точці прийому, SNR - відношення сигнал / шум, V - сумарна швидкість передачі даних в поточному режимі СКК, MCS - номер СКК, SS - число просторових потоків (в даному експерименті, 1), M - вид модуляції, C - вид кодування, h^2 - енергетичний параметр в каналі зв'язку.

Енергетичні точки перемикання СКК показані на рис. 6. як функція швидкості передачі даних і параметра h^2 , де можна бачити пороги перемикання СКК при зміні енергетичних умов в каналі зв'язку.

Таблиця 1

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ПРИКЛАДНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Pr	SNR	V	MCS	SS	M	C	h^2
-65	55	72.2	7	1	QAM64	5/6	36.4
-66	54	72.2	7	1	QAM64	5/6	35.4
-67	53	72.2	7	1	QAM64	5/6	34.4
-68	52	72.2	7	1	QAM64	5/6	33.4
-69	51	65	6	1	QAM64	3/4	32.4
-70	50	65	6	1	QAM64	3/4	31.4
-71	49	65	6	1	QAM64	3/4	30.4
-72	48	57.7	5	1	QAM64	2/3	29.4
-73	47	57.7	5	1	QAM64	2/3	28.4
-74	46	57.7	4	1	QAM16	2/3	27.4
-75	45	43.3	4	1	QAM16	3/4	26.4
-76	44	43.3	4	1	QAM16	3/4	25.4
-77	42	43.3	4	1	QAM16	3/4	23.4
-79	41	28.8	3	1	QAM16	1/2	22.4
-80	40	28.8	3	1	QAM16	1/2	21.4
-81	39	28.8	3	1	QAM16	1/2	20.4
-82	38	21.6	2	1	QPSK	3/4	19.4
-83	35	21.6	2	1	QPSK	3/4	16.4
-85	34	21.6	2	1	QPSK	3/4	15.4
-86	33	14.4	1	1	QPSK	1/2	14.4
-87	30	14.4	1	1	QPSK	1/2	11.4
-89	29	7.2	0	1	BPSK	1/2	10.4
-90	28	7.2	0	1	BPSK	1/2	9.4
-91	26	7.2	0	1	BPSK	1/2	7.4

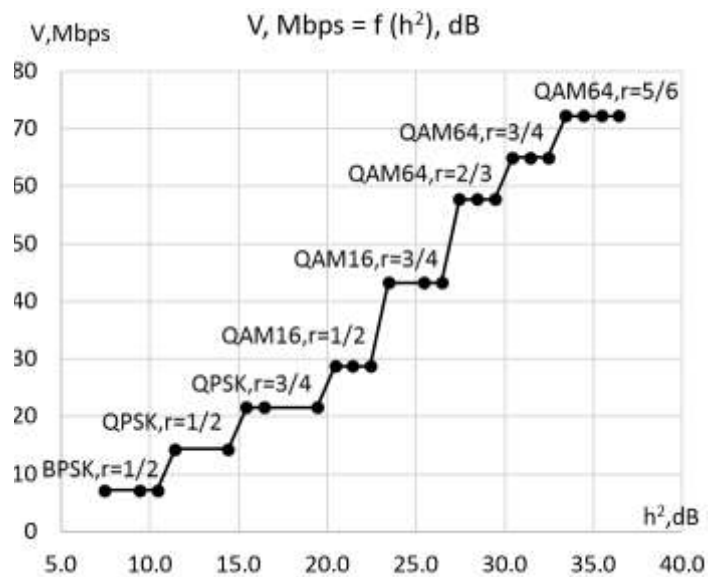


Рис. 6. Експериментально отримана залежність V , Мбіт/с = $f(h^2)$

У п'ятому розділі представлені результати побудови стратегій передачі інформації на рівні MAN. На прикладі розгляду сучасної технології безпроводового зв'язку UMTS обґрунтовано місце кожного з перетворень інформації в технологіях передавання, проте збільшення ступенів перетворень сигналів джерела в каналі, зменшує частку інформаційних символів в послідовності, яка передається по лінії зв'язку.

$$R_{UMTS} = \nu \cdot r_y \cdot r_K \log m(1 + p_b \log p_b + (1 - p_b) \log(1 - p_b)) \ll C_{UMTS}, \quad (17)$$

де r_k – швидкість завадостійкого кодування, а p_b – вірогідність помилки біта інформації.

Результати розрахунку продуктивності R_{UMTS} представлена на рис. 7.

Максимальні значення $R_{UMTS\max} = V \cdot r_y \cdot r_k$ відповідно до сигналів QPSK досягаються досить швидко, що пояснюється досить високою енергетичною ефективністю сигналів QPSK. У даному випадку продуктивність напряму залежить від швидкості кодування.

Для QAM16 спостерігається аналогічна ситуація, але при швидкості кодування $r_k=1/3$ гранична продуктивність досягається раніше ніж для випадку $r_k=1/2$, що пояснюється більшою завадостійкістю коду $r_k=1/3$, хоча продуктивність у випадку з кодом $r_k=1/3$ – менша.

Із рис.7. видно, що комплексне використання заходів для збільшення завадостійкості може привести до зниження продуктивності до $K/r_k \gg 1$ разів у порівнянні з пропускну здатністю C_{UMTS} , а використання сигналів багатопозиційної маніпуляції підвищує продуктивність в $\log m$ разів в порівнянні з випадком використання бінарних маніпульованих сигналів. Так, при швидкості передавання елементарних символів застосування QAM16 при значеннях $h^2 = 4\text{дБ}$ досягається пропускну здатність каналу $C_{UMTS} = 3,5$ Мбіт/с. При цьому використання коду зі швидкістю $r_k = 1/2$ та коефіцієнтом розширення $K = 16$ дозволяє забезпечити кінцеву швидкість передавання інформації (продуктивність) всього лише $R_{UMTS} = 0,5$ Мбіт/с (рис.7), але при підвищенні достовірності на 4 порядки (з 10^{-2} до 10^{-6}).

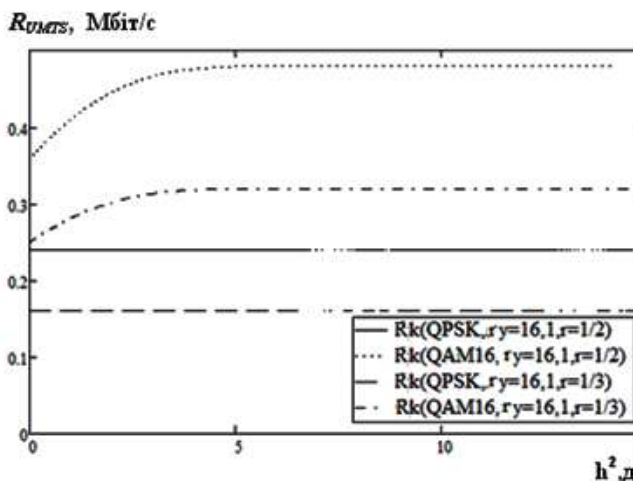


Рис. 7. Залежність продуктивності каналу від енергетичних параметрів каналу з урахуванням завадостійкого кодування
(— QPSK, $r_y=16$, $r_{3K}=1/2$, QAM16, $r_y=16$, $r_{3K}=1/2$, — QPSK, $r_y=16$, $r_{3K}=1/3$, - - QAM16, $r_y=16$, $r_{3K}=1/3$).

Побудовано стратегію передачі інформації при використанні нано- та пікосот з метою оцінки продуктивності систем безпроводового широкосмугового доступу на прикладі технологій Wi-Fi і LTE.

На рис.8 представлені залежності показників достовірності від відстані.

З даних графіків випливає, що збільшення вимог щодо достовірності призводить до скорочення обсягу переданої інформації та спрощення виду маніпуляції. Отже, як й слід очікувати, чим ближче абонент знаходиться до базової станції, тим менша ймовірність помилкового прийому біта, що дозволяє

використовувати більш високошвидкісний спосіб маніпуляції з дотриманням вимог щодо достовірності.

Розглянуті пакетні радіомережі функціонують на території радіусом R , на якій абоненти породжують трафік, пропорційний площі їх розміщення. В подальшому, під показником продуктивності системи розуміємо швидкість передачі інформації за одиницю часу на визначеній території.

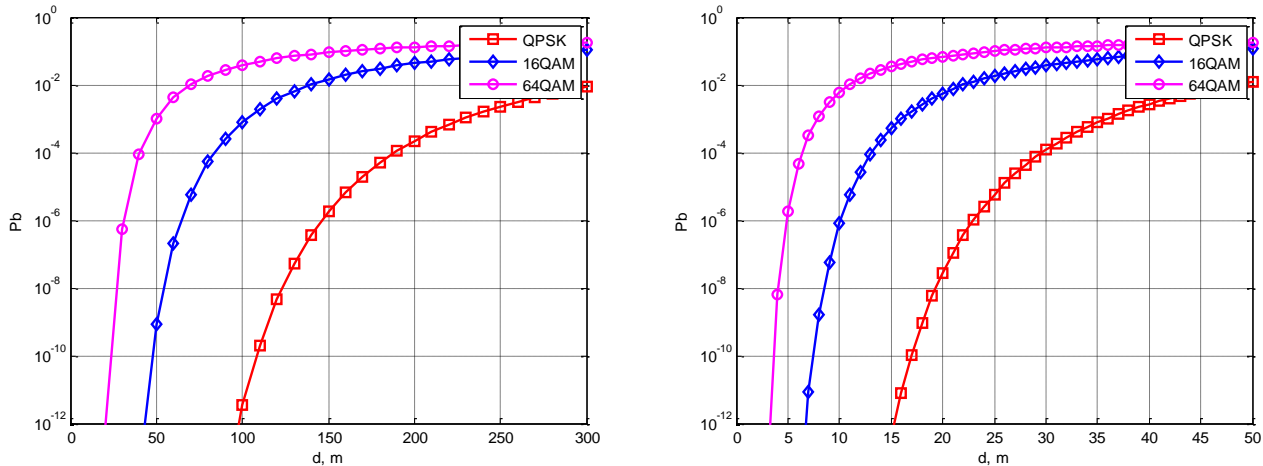


Рис. 8. Залежність бітової помилки від відстані для радіоліній в технологій LTE та Wi-Fi

Сумарний трафік мережі G , що охоплює зону радіусом R , визначається з формули

$$G = g \cdot \pi \cdot R^2, \quad (18)$$

де g – питомий обслугований трафік користувачів (E_{pl}), що припадає на одиницю площі зони обслуговування;

G - одиниця обслугованого трафіку – Мбіт.

Загальний трафік G пропорційний сумі трафіків, що породжуються в кільцеподібних зонах G_i з граничними радіусами R_i , $i = 1, 2, 3$ (QPSK з $m_1=2$, QAM-16 з $m_2=4$, QAM-64 з $m_3=6$)

$$G = \sum_{i=1}^3 G_i = g \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^3 m_i (R_i^2 - R_{i-1}^2) \quad (19)$$

Таблиця 2. Нормована продуктивність при зміні вимог до достовірності для систем зв'язку LTE та Wi-Fi, Мбіт

Модуляція \ P_b	LTE			Wi-Fi		
	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
QPSK	179,41	135,56	108,31	4,44	3,35	2,67
QAM16	67,77	49,95	40,49	1,65	1,24	0,98
QAM64	31,02	24,02	18,40	0,77	0,57	0,45
Мережа G	278,21	209,53	167,19	6,86	5,16	4,11

Завадостійке кодування дозволяє збільшити радіуси зон обслуговування та продуктивність всієї мережі за рахунок того, що вимоги до завадостійкості сигналів на вході декодера знижуються, а радіус зони обслуговування –

поширюється (див. Рис. 10). Використання добре відомих методів кодування з простою реалізацією, створює нові можливості передачі даних на заданих відстанях з необхідною достовірністю та швидкістю передачі.

На рис. 9 представлені залежності достовірності прийому від відстані при використанні кодування зі швидкостями, що використовуються для різних видів модуляції для LTE та Wi-Fi.

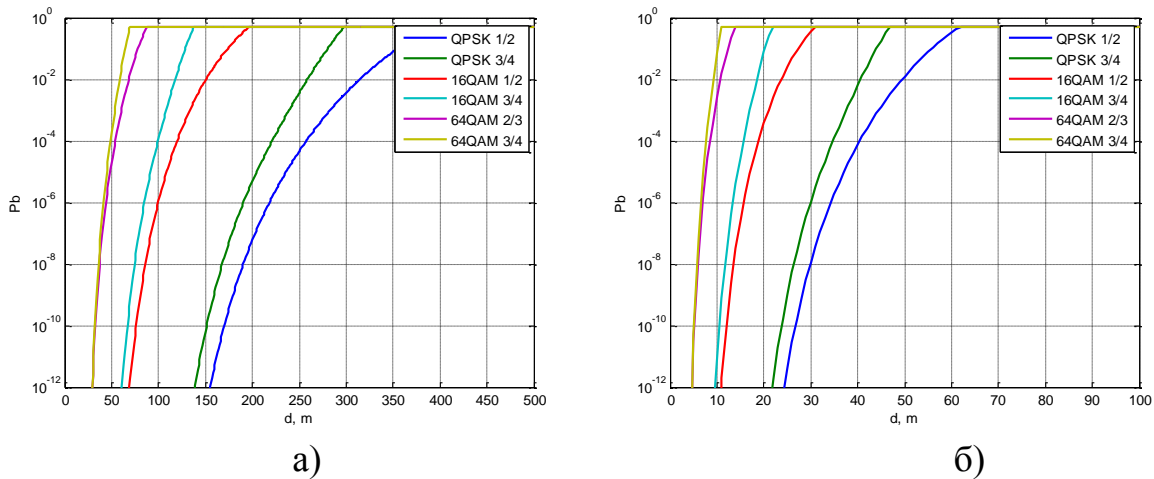


Рис. 9. Залежність ймовірності помилки від відстані для комбінації різних видів модуляції та згорткового кодування для систем а) LTE та б) Wi-Fi

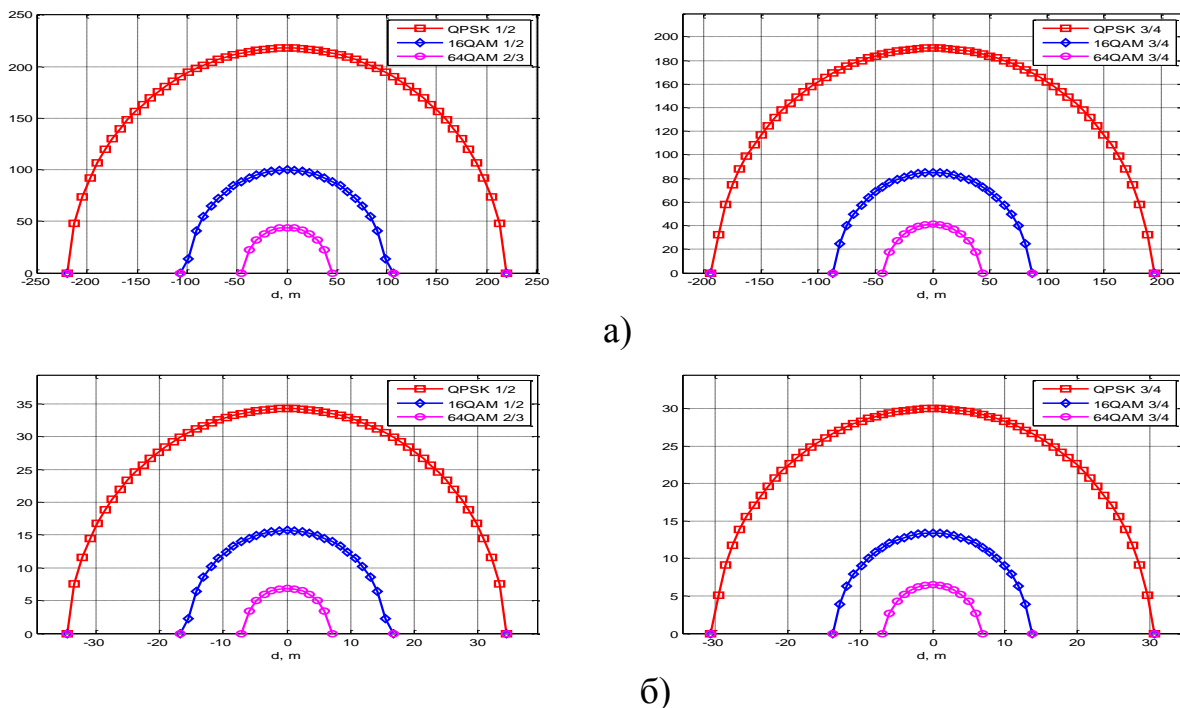


Рис. 10. Схематичне відображення зон обслуговування, враховуючи завадостійке кодування при комбінації різних видів модуляції та кодування для мережі а) LTE та б) Wi-Fi

Дослідження для Wi-Fi та LTE проведено для двох варіантів завадостійкого кодування:

- 1) QPSK 1/2, QAM-16 1/2, QAM-64 2/3;
- 2) QPSK 3/4, QAM-16 3/4, QAM-64 3/4.

У порівнянні з даними, відображеними на рис. 8, для достовірності помилки $P_b=10^{-6}$ зона обслуговування поширилася на 48,9% при швидкості кодування 1/2 та на 30,11% – при швидкості кодування 3/4 для мереж LTE, на 49,33% для швидкості кодування 1/2 та на 30,61% для швидкості кодування 3/4 – для мережі Wi-Fi.

Таблиці 3-4 відображають нормовану продуктивність при зміні вимог до достовірності для LTE та Wi-Fi з використанням загорткового кодування.

Таблиця 3

Нормована продуктивність при зміні вимог до достовірності для технології LTE, Мбіт

P_b Модуляція	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
QPSK 1/2	162,26	137,65	118,07
QAM16 1/2	72,16	59,87	44,16
QAM64 2/3	36,64	29,56	36,59
Мережа G	271,06	227,08	198,82

P_b Модуляція	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
QPSK 3/4	183,50	158,41	136,97
QAM16 3/4	71,15	60,34	51,94
QAM64 3/4	33,24	28,37	24,23
Мережа G	287,89	247,12	213,14

Таблиця 4

Нормована продуктивність при зміні вимог до достовірності для технології Wi-Fi, Мбіт

P_b Модуляція	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
QPSK 1/2	4,04	3,39	2,92
QAM16 1/2	1,76	1,49	1,25
QAM64 2/3	0,91	0,73	0,60
Мережа G	6,72	5,62	4,77

P_b Модуляція	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
QPSK 3/4	4,50	3,91	3,39
QAM16 3/4	1,79	1,49	1,29
QAM64 3/4	0,84	0,70	0,60
Мережа G	7,13	6,10	5,29

У порівнянні з даними, відображеними у табл. 2, значення узагальненого показника ефективності – нормованої продуктивності – для $P_b=10^{-6}$ збільшилось на 18,92% (швидкість кодування 1/2) та на 27,48% (швидкість кодування 3/4) в мережі LTE та на 16,06% (швидкість кодування 1/2) та 28,71% (швидкість кодування 3/4) – в мережі Wi-Fi.

У **шостому розділі** наведено результати побудови стратегій передачі інформації на рівні WAN. Запропоновано стратегії передачі інформації на основі технології DWDM. Вперше вдалося синтезувати методику для оцінки інформаційних можливостей систем з технологією DWDM з урахуванням швидкісних, ймовірнісних, шумових показників, нелінійних ефектів і характеристик середовища передачі.

Вперше вирішується завдання переведення параметрів ВОЛЗ до змінних, за допомогою яких можна оцінити пропускну здатність волоконно-оптичного каналу.

Оцінку пропускну здатності ВОЛЗ з технологією DWDM можна підпорядкувати аксіоматиці Шеннона в рамках моделі передачі дискретного сигналу:

$$C_{DWDM} = V_C \cdot [1 + (1 - p_s) \cdot \log_2(1 - p_s) + p_s \cdot \log_2 p_s] \quad (20)$$

де V_C – швидкість передачі цифрового потоку даних в оптоволоконному каналі; p_s – ймовірність помилки символу.

В системі використовується бінарна амплітудна маніпуляція BASK з кодуванням без повернення до нуля NRZ, що дозволяє досягти швидкості до 10 Гбіт/с по одному оптичному каналу.

Продуктивність визначається відповідно до виразу:

$$R_{DWDM} = V_s (1 + (1 - p_b) \log(1 - p_b) + p_b \log(p_b)) \quad (21)$$

де V_s - швидкість передачі інформації від джерела; P_b - ймовірність помилки біта інформації.

Вирішена задача визначення ймовірності помилки, як функції Q-фактора - показника якості передачі в волоконній лінії:

$$BER_{безFEC} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (22)$$

$$Q = \frac{2 \cdot OSNR \cdot \sqrt{\frac{B_0}{B_e}}}{1 + \sqrt{1 + 4OSNR}} \quad (23)$$

де B_e - смуга частот електричного фільтра фотоприймача, МГц, B_0 - смуга спектра оптичного сигналу, МГц.

OSNR є відношенням сигнал / шум на прийомній стороні і визначається відношенням потужності сигналу до потужності шумів.

$$OSNR = \frac{P_c}{P_{ш}} \quad (24)$$

При використанні в системі завадостійкого кодування (коди Ріда-Соломона), ймовірність помилки:

$$BER_{FEC} = \frac{2^{m-1} \left[\sum_{i=1+t}^n \left[\left(\frac{i+t}{n} \right) \cdot \left[\frac{n!}{(n-1)!i!} \right] \cdot (BER)^i \cdot (1-BER)^{n-i} \right] \right]}{2^m - 1} \quad (25)$$

Рис.11. демонструє перевагу коду з більшою корегуючою здатністю при визначенні ймовірності бітової помилки.

Знаючи ймовірність бітової помилки і швидкість передачі даних в каналі можна розрахувати пропускну здатність і продуктивність системи DWDM.

Характер зміни пропускну здатності і продуктивності від протяжності оптоволоконної лінії при різних значеннях потужності, що надходить в волокно, представлений на рис. 12.

Таблиця 5. Значення ймовірності бітової помилки при різному енергетичному бюджеті лінії і типах коду Ріда-Соломона

	BER без FEC	BER з використанням FEC					
Q, дБ		RS (31,25)	RS (31,29)	RS (63,51)	RS (63,59)	RS (127,103)	RS (127,125)
Швидкість кода		0.81	0.935	0.81	0.936	0.81	0.9685
1	0.159	0.1504	0.106	0.176	$9.26 \cdot 10^{-2}$	0.1219	$8.58 \cdot 10^{-2}$
2	0.023	$9.951 \cdot 10^{-3}$	$1.37 \cdot 10^{-2}$	$3.65 \cdot 10^{-3}$	$1.487 \cdot 10^{-2}$	$6.68 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$
3	$1.35 \cdot 10^{-3}$	$1.139 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.42 \cdot 10^{-8}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$2.332 \cdot 10^{-9}$	$2.12 \cdot 10^{-4}$
4	$3.67 \cdot 10^{-5}$	$5.63 \cdot 10^{-10}$	$1.93 \cdot 10^{-7}$	$7.197 \cdot 10^{-17}$	$1.36 \cdot 10^{-7}$	$1.125 \cdot 10^{-19}$	$1.62 \cdot 10^{-7}$
5	$2.867 \cdot 10^{-7}$	$2.13 \cdot 10^{-15}$	$4.9 \cdot 10^{-11}$	$2.17 \cdot 10^{-27}$	$1.97 \cdot 10^{-11}$	$9.62 \cdot 10^{-33}$	$1.76 \cdot 10^{-11}$
6	$9.86 \cdot 10^{-10}$	$6.68 \cdot 10^{-22}$	$2.3 \cdot 10^{-15}$	$5.35 \cdot 10^{-40}$	$4.63 \cdot 10^{-16}$	$1.847 \cdot 10^{-48}$	$2.943 \cdot 10^{-16}$

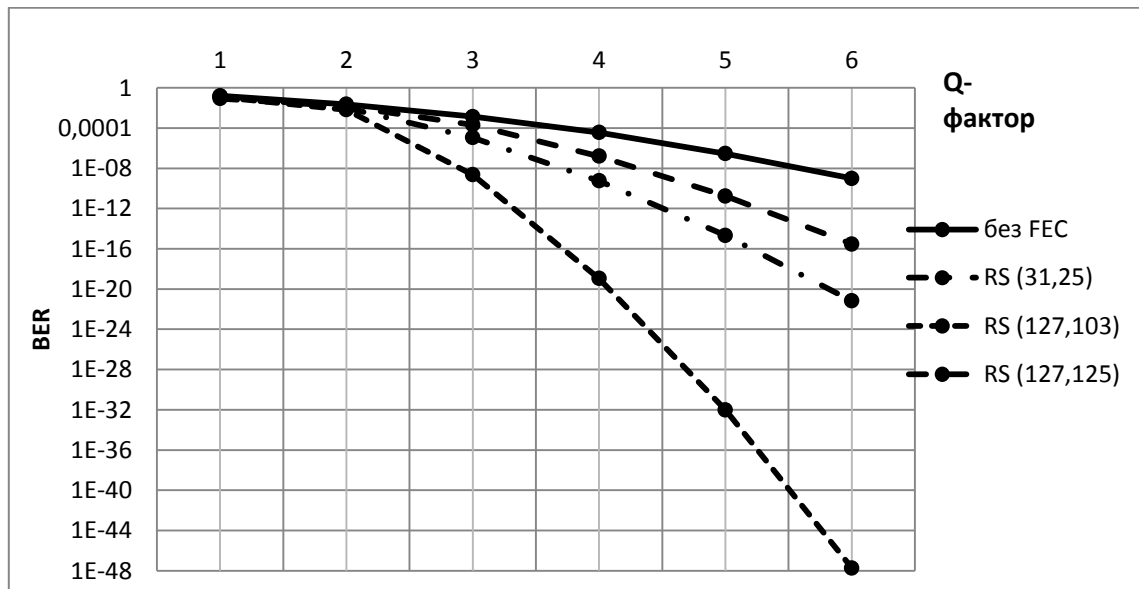


Рис. 11. Залежність ймовірності бітової помилки від енергетичного бюджету лінії при різних типах коду Ріда-Соломона

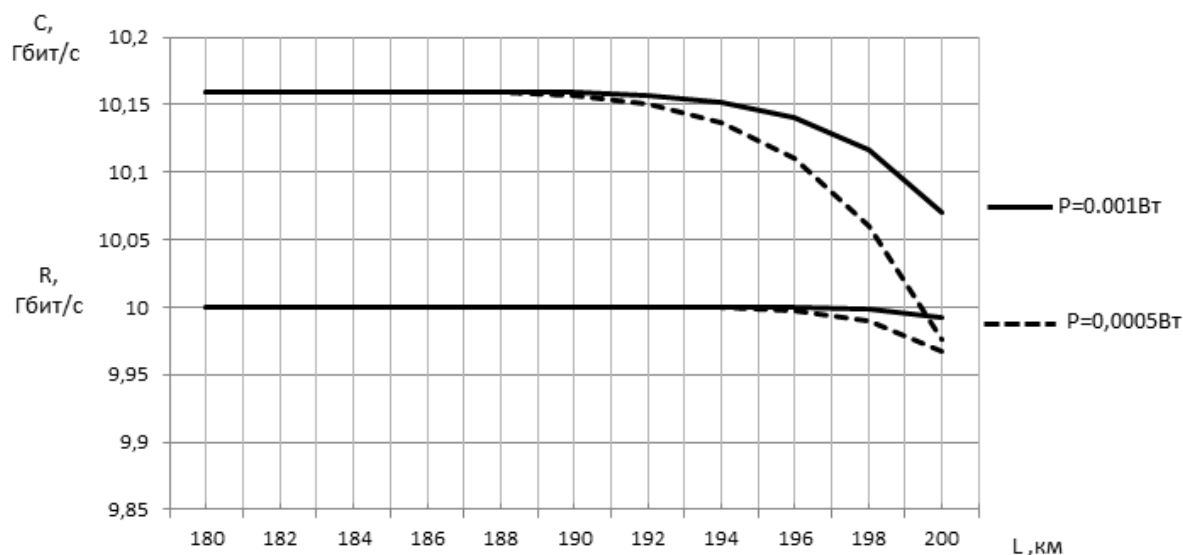


Рис. 12 Зміна пропускної здатності і продуктивності від протяжності оптоволоконної лінії

На рис.12 залежність пропускної здатності і продуктивності системи від вхідної потужності не є постійно зростаючою або спадною функцією. Це пояснюється тим, що з ростом вхідної потужності вплив нелінійних ефектів і зростання потужності перешкод в каналі проявляються в більшій мірі. І як результат, невиражена зміна відношення сигнал / перешкода.

Запропоновано стратегію передачі інформації на основі технології PES супутникової системи зв'язку. Стратегія передбачає можливість передавання інформації з урахуванням просторової компоненти. За результатами дослідження побудовано модель супутникового каналу передачі даних.

Спрощена схема передачі інформації в ССЗ з технологією PES представлена на рис.13.

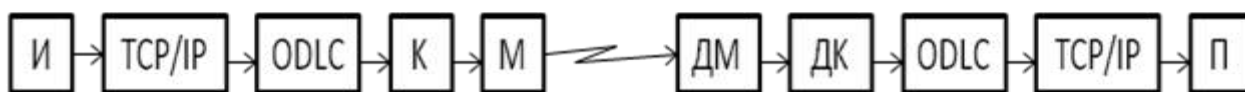


Рис. 13. Модель супутникового каналу передачі даних

Від джерела інформації (І) інформаційний потік надходить в локальну мережу, де він пакується протоколом TCP/ IP. Далі пакети TCP/IP приходять на супутникову станцію, де вони конвертуються в транспортний протокол ODLC супутникової системи PES, потім кодуються, модулюються і передаються на прийомну станцію. Сигнал, що приймається демодулюється, декодується, знімається протокол ODLC, після цього пакети TCP/IP передаються по локальній мережі одержувачу (П).

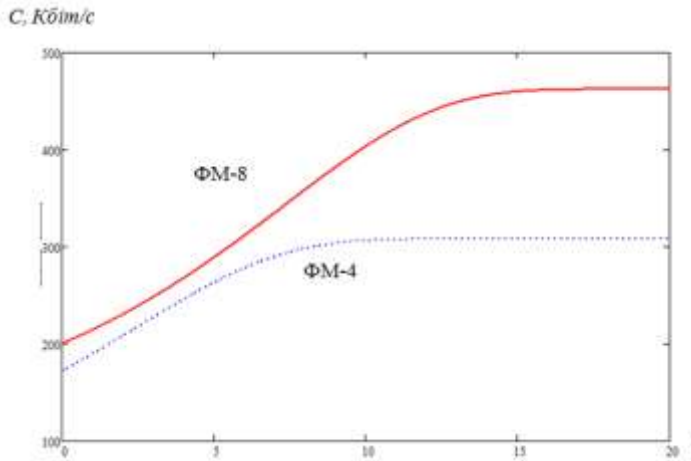


Рис. 14. Залежності пропускної здатності від енергетичного потенціалу для вихідного каналу

Кожне перетворення символів джерела інформації впливає на загальну продуктивність системи передачі. Чим більше перетворень, тим менше інформаційних символів в послідовності, яка передається в каналі.

Продуктивність каналу після декодера:

$$R_{CC3} = V_s \cdot \delta \cdot r_K [1 + (1 - p_b) \cdot \log(1 - p_b) + p_b \cdot \log p_b] \ll C \quad (26)$$

де r_K – швидкість завадостійкого кодування, δ – частка службових символів, p_b – ймовірність помилки декодованого біта інформації.

Розглянемо залежність продуктивності R_{CC3} на виході декодера від енергетичного потенціалу h^2 . На рис. 15. представлені графіки залежності R_{CC3} від h^2 , з урахуванням завадостійкого кодування ($r = 1/2$), при ФМ-4 і ФМ-8 для вихідного каналу з пакетами максимальної довжини.

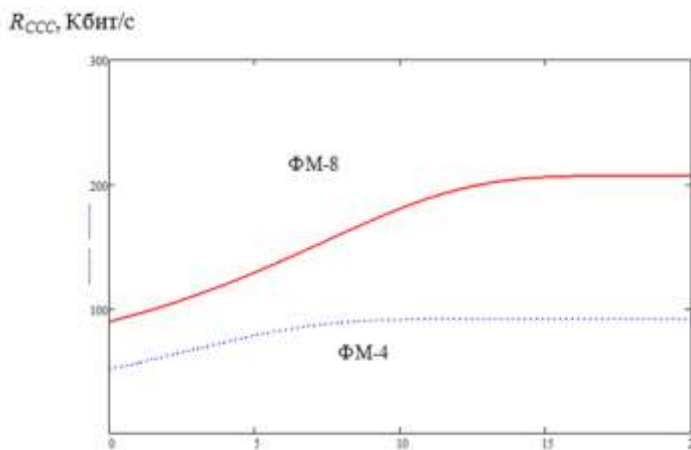


Рис. 15. Залежність продуктивності каналу від енергетичного потенціалу з урахуванням завадостійкого кодування ($r = 1/2$, ФМ-4, ФМ-8, вихідний канал з пакетами максимальної довжини)

З рис. 15. видно, що комплексне використання заходів підвищення

завадостійкості може привести до продуктивності в порівнянні зниження з пропускну здатністю C , а використання сигналів багатопозиційної маніпуляції підвищує продуктивність в $\log m$ разів у порівнянні з випадком використання бінарних маніпульованих сигналів. Так, при швидкості передачі елементарних символів застосування ФМ-4 при значеннях $h^2 = 10$ дБ досягається пропускна здатність каналу $C = 300$ Кбіт/с, при цьому застосування коду зі швидкістю $r = 1/2$ і інкапсуляція інформаційних даних дозволяє забезпечити кінцеву швидкість передачі інформації (продуктивність) всього лише $R_{CC3} = 90$ Кбіт/с, але при забезпеченні достовірності на 2 порядки вище ніж ФМ-8.

Запропоновано стратегію застосування особливостей стандарту DVB-T2 у дуплексних системах передачі з метою підвищення їх завадостійкості. Для покращення завадостійкості розрахованого РРЛ прольоту запропоновано використання адаптивного режиму кодування та модуляції замість статичного. У якості вихідного набору обрано перелік АСМ режимів, що на даний момент використовуються у стандарті DVB-T2. Проведений аналіз показав надлишковість використання такого набору, тому запропоновано **редукцію** кількості режимів.

Для редукованого набору розраховано порогові значення h^2 (табл. 6 для каналу без завмирань), при досягненні яких система має переходити на нижчі рівні модуляції та кодування. Визначено залежності пропускної здатності на РРЛ прольоті від його довжини (табл.7). Отримані дані дозволять спростити процес планування радіорелейних систем.

Суцільними товстими лініями на графіках з рис. 16 вказано режим кодування та модуляції, у якому працюватиме система залежно від значення E_b/N_0 .

Таблиця 6. Динамічні діапазони h^2 для режимів АСМ

Режим	D_{EbN0}
QAM-256 (5/6)	$> 26,52$ дБ
QAM-256 (3/4)	25,25 – 26,52 дБ
64QAM (5/6)	21,76 – 25,25 дБ
64QAM (3/4)	20,49 – 21,76 дБ
16QAM (5/6)	17,35 – 20,49 дБ
16QAM (2/3)	15,59 – 17,35 дБ
QPSK (5/6)	13,48 – 15,59 дБ
QPSK (1/2)	11,27 – 13,48 дБ

Таблиця 7.Порогові значення d для режимів АСМ

Режим	R, Мбіт/с	d , км
QAM-256 (5/6)	183,3	31,07
QAM-256 (3/4)	165	36,33
64QAM (5/6)	137,5	52,29
64QAM (3/4)	123,8	59,96
16QAM (5/6)	91,7	83,04
16QAM (2/3)	73,3	99,56
QPSK (5/6)	45,5	128,06
QPSK (1/2)	27,5	161,83

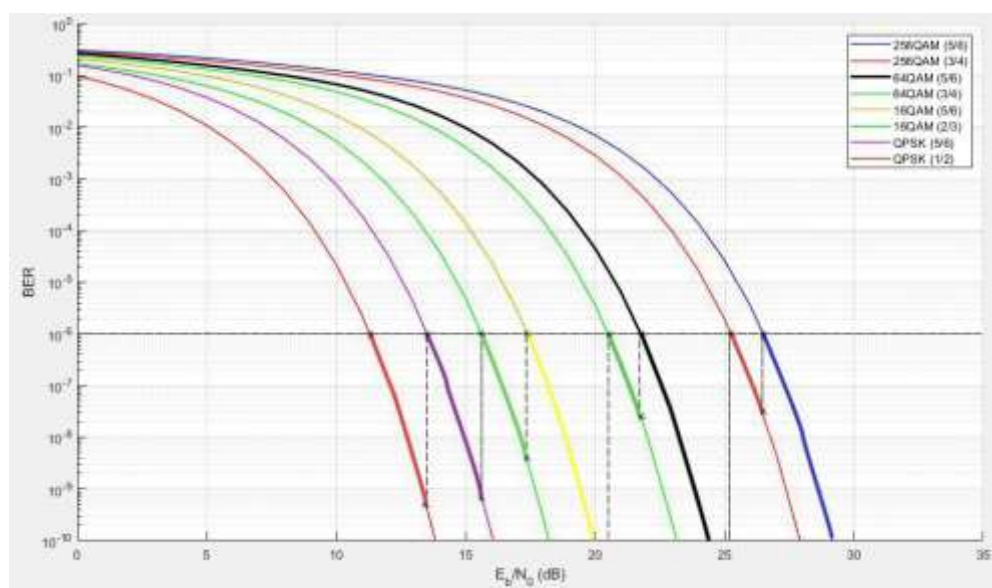


Рис. 16. Визначення порогових значень E_b/N_0 (h^2)

У цьому розділі запропонована оцінка інформаційної ефективності сформованих Стратегій передачі інформації в мультисервісних телекомунікаційних системах при реалізації відповідних мультисервісних Сценаріїв.

Запропонована модифікована методика оцінки ефективності телекомунікаційних технологій, яка доповнює відому методику оцінки ефективності систем передавання інформації, запропоновану проф. Зюко А.Г., не змінюючи її фізичної сутності, наступними новими можливостями:

- введення шкали узагальненої ефективності η для визначення її числових значень у діапазоні $0 < \eta \leq 1$;

- коректне відображення показників ефективності $\{\eta; \beta; \gamma\}$ на уніфікованій шкалі для дискретних та неперервних систем передачі в області, обмеженій межею Шеннона;

- доступність комплексної оцінки інформаційної ефективності різних систем на основі трьох показників інформаційної ефективності: енергетичної β , частотної γ та узагальненої η , які роблять таку оцінку більш об'єктивною.

- розширення діапазону параметрів, які відображаються при зміні вимог до достовірності P при оцінці інформаційної ефективності різних систем передавання інформації;

- уточнення послідовності оцінки ефективності телекомунікаційних технологій з окремими видами модуляції (QAM та PSK-M).

Співвідношення для узагальненої інформаційної ефективності дорівнює:

$$\eta = \frac{R}{C} = \frac{\frac{1}{2}(\log M + P \log \frac{1}{M-1} + (1-P) \log(1-P))}{\log(1+h^2)} \quad (27)$$

Результати дослідження інформаційної ефективності для різних мультисервісних телекомунікаційних систем представлені на рис. 17-18.

На рис. 17. представлено порівняння безпроводових та проводових технологій на основі показника інформаційної ефективності. Для порівняння був обраний певний набір багатократної маніпуляції (QPSK, QAM16) який використовується в кожній з технологій. При збільшенні кратності модуляції для підтримки необхідної достовірності передачі інформації $P = 10^{-5}$ - 10^{-6} спостерігається зростання показника частотної ефективності та погіршення показника енергетичної ефективності.

Технології LAN (ADSL2 +, Wi-Fi) поступаються за інформаційною ефективністю технологіям MAN (UMTS, DVB-T2).

Слід зазначити, що для безпроводових технологій показник енергетичної ефективності є більш чутливим, ніж для проводових. Звертаючись до технології DWDM, можна бачити, що показники частотної та енергетичної ефективності істотно відрізняються від інших технологій в силу специфічного середовища передачі і шумових обставин в оптоволокну, а також за рахунок використання бінарних сигналів.

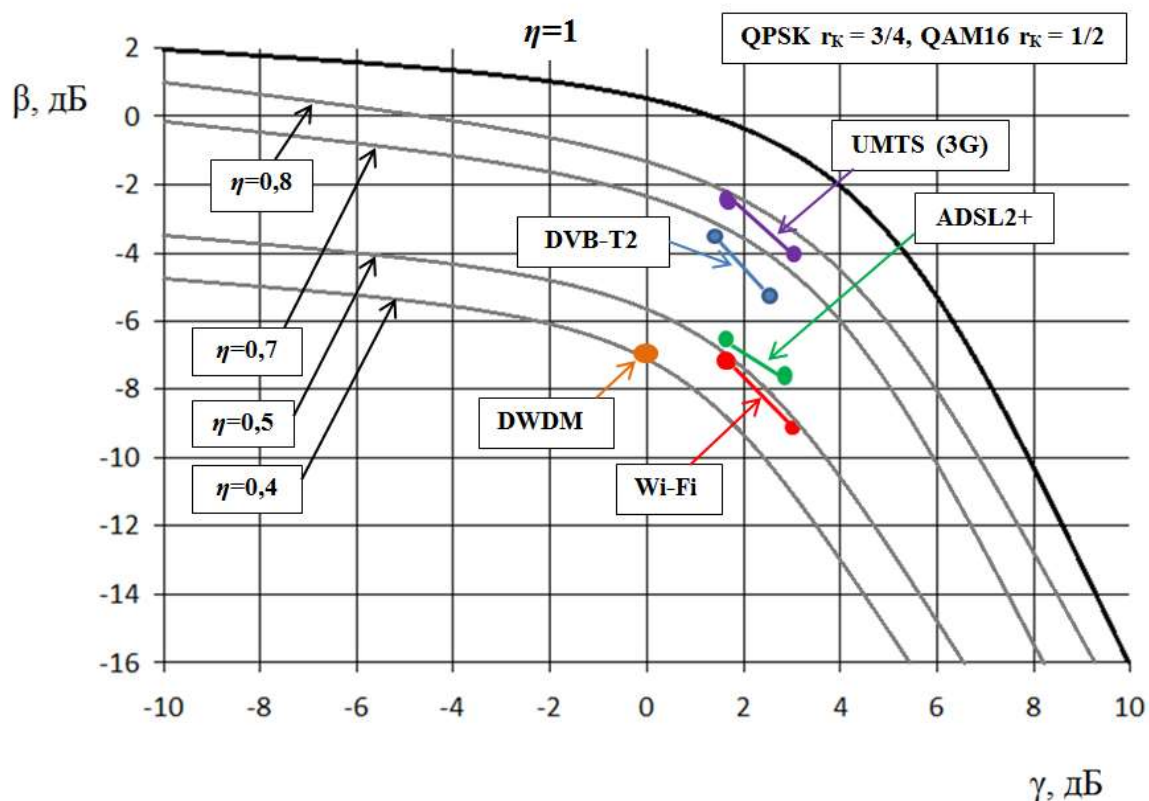


Рис. 17. Інформаційна ефективність мультисервісних телекомунікаційних систем

На рис. 18. представлені результати дослідження інформаційної ефективності для технології DVB-T2. Синьою лінією означено зміну показників ефективності при використанні різних режимів багатократної модуляції (QPSK, QAM16, QAM64, QAM256). Швидкість кодування для даної залежності становить $r_k = 1/2$. Червоною лінією означено зміну показників ефективності при такому ж наборі модуляцій але швидкість кодування в цьому випадку становить $r_k = 5/6$. Для обох залежностей вимоги до достовірності складають $P=10^{-6}$.

Таким чином, червона залежність демонструє, що для досягнення достовірності $P=10^{-6}$ при швидкості кодування $r_k = 5/6$, тобто послабити вимоги до кодування в порівнянні з $r_k = 1/2$, можливо тільки у випадку збільшення відношення сигнал/шум. Це призводить до зміщення кривої вниз по шкалі енергетичної ефективності β . Одночасно, різниця між смугою частот та продуктивністю при $r_k = 5/6$ менша ніж при $r_k = 1/2$. Це призводить до зміщення кривої вправо по шкалі частотної ефективності.

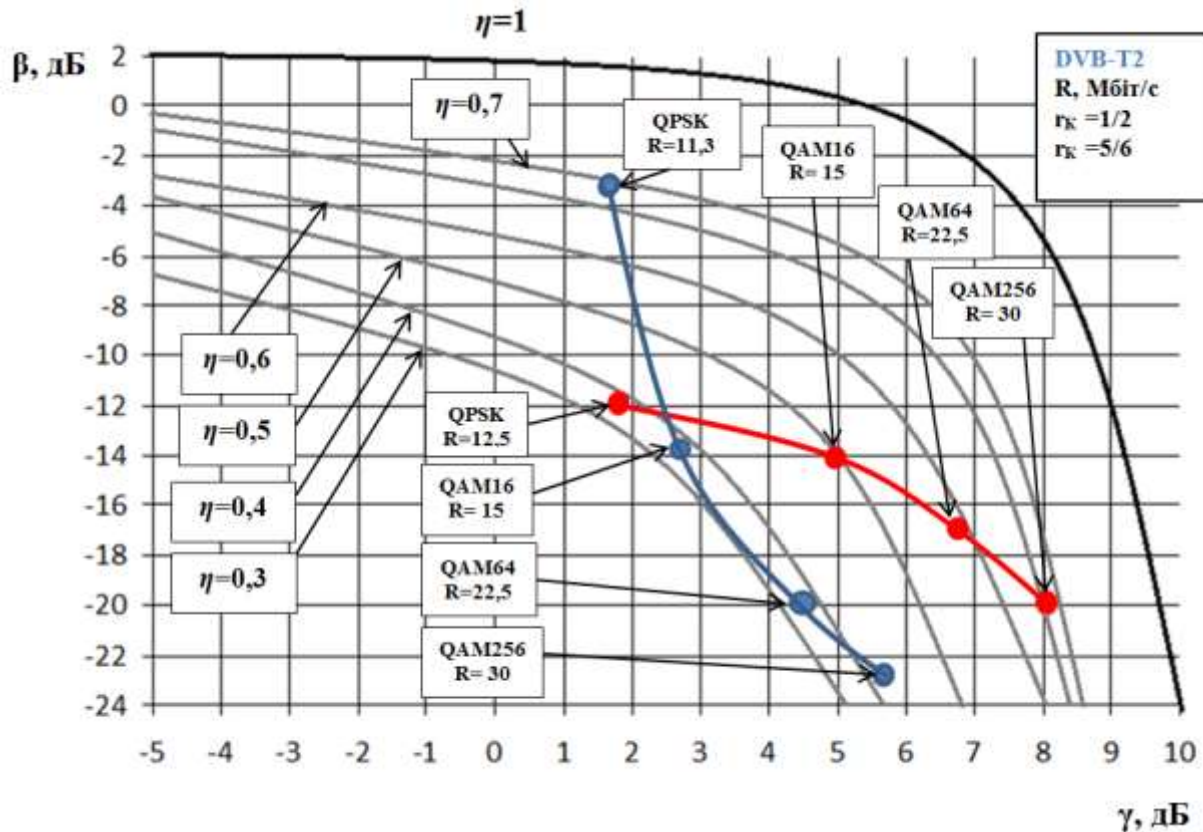


Рис. 18. Інформаційна ефективність DVB-T2

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано нову концепцію аналізу відповідності інформаційних потреб суспільства та можливостей їх подання за рахунок наявних ресурсів мультисервісних телекомунікаційних систем на основі введення таких категорій, як Сценарій надання інформаційних послуг і телекомунікаційна Стратегія. Обґрунтовано, що завданням формування фундаментальної Стратегії фізичного рівня є визначення сукупності умов для максимального використання наявних ресурсів з метою забезпечення доставки сигналів з необхідною достовірністю і максимально досяжною швидкістю передачі інформаційної компоненти сигнального потоку на фізичному рівні.

2. Сформовано засади для нової концепції аналізу передачі інформації в мультисервісних телекомунікаційних системах. Фундаментальною умовою неспотвореної доставки інформації споживачеві є достатня достовірність переданих за допомогою сигналів повідомлень і забезпечення умов своєчасності доставки; при цьому забезпечення достовірності – прерогатива виключно фізичного рівня, своєчасність забезпечується реалізацією протоколів всіх рівнів; роль фізичного рівня в компоненті своєчасності – максимальна швидкість передачі інформації по каналу зв'язку.

3. Визначено критерії та показники оцінки якості функціонування мультисервісних телекомунікаційних систем згідно запропонованої концепції. Обґрунтовано, що вимоги до достовірності і максимальної швидкості передачі сигналів (для забезпечення умов своєчасності доставки) суперечливі на рівні базового аргументу h^2 функції достовірності $P(h^2)$.

4. Вперше отримано умови досягнення екстремумів продуктивності мультисервісної телекомунікаційної системи. Показано наявність екстремуму в залежностях продуктивності без кодування сигналів різної кратності маніпуляції при відповідних енергетичних умовах в каналі.

5. Запропонована нова методика оцінки показників якості передачі інформації. Задаючи вихідні данні, а саме швидкість джерела, розмір блоку і ймовірність помилки на біт можна з використанням цієї методики визначити значення показників якості за вимогами рекомендації G.826 Міжнародного союзу електрозв'язку, трансформуючи теоретичні показники завадостійкості до стандартизованих показників достовірності в телекомунікаційних системах.

6. Побудовано імітаційну модель оцінки значення показників якості при певних вхідних параметрах та проаналізовано їх поведінку на певному проміжку значень вхідних параметрів. Модель на основі генератора випадкових чисел імітує цифровий канал зв'язку із завадами. З її допомогою проаналізовано показники якості цифрових каналів зв'язку.

7. Запропоновано стратегії передачі інформації в LAN мережах. Представлено експериментальні дані, які вперше отримані як функціонал традиційного аналітичного енергетичного параметра h^2 , трансформуючи евристичний алгоритм для прийняття рішень про зміну типу СКК на основі роботи лічильника помилок. Цей результат є основою для порівняння використання ресурсів каналу за допомогою реалізованих алгоритмів в пристроях IEEE 802.11n, а також рекомендації, отримані в результаті аналітичного аналізу.

8. Запропоновано стратегії передачі інформації в MAN мережах. На прикладі сучасної технології безпроводового зв'язку UMTS обґрунтовано місце кожного з перетворень інформації в технологіях передавання. Показано, що збільшення ступенів перетворень сигналів джерела в каналі зменшує частку інформаційних символів в послідовності, яка передається по лінії зв'язку.

9. Запропоновано стратегії передачі інформації на прикладі технологій Wi-Fi та LTE та отримано значення продуктивності мобільних систем з використанням нано- і пікосот. За даними показниками зроблено оцінку продуктивності в залежності від радіусу дії зони обслуговування систем з нано- і пікосотами, а також порівняно ці показники при комбінації різних видів маніпуляції та кодування.

10. Запропоновано стратегії передачі інформації для WAN мереж на основі технології DWDM. Показано, що використання у якості середовища передачі даних має велику кількість переваг, зокрема, дуже мале значення питомого загасання волокна, що дає змогу передавати оптичний сигнал на значні відстані без застосування підсилювачів. Проаналізовано вплив

нелінійних ефектів оптичного волокна, які мають значний вплив на енергетику каналу.

11. Побудовано методику розрахунку показників інформаційних можливостей оптоволоконної системи передачі з розподіленням каналів за довжиною хвилі. Розраховано продуктивність джерела інформації та пропускну здатність каналу DWDM системи та системи загалом. Встановлено залежності показників інформаційних можливостей від енергетичних характеристик системи. Методика дозволяє оцінити об'єми переданої корисної інформації кінцевих користувачів у каналах DWDM - системи з огляду додавання службових даних в процесі передачі.

12. Запропоновано стратегії передачі інформації на основі технології PES супутникової системи зв'язку. Стратегія передбачає можливість передавання інформації з урахуванням просторової компоненти. За результатами дослідження побудовано модель супутникового каналу передачі даних.

13. Запропоновано стратегію застосування особливостей стандарту DVB-T2 у дуплексних системах передачі з метою підвищення їх завадостійкості. Для покращення завадостійкості розрахованого РРЛ прольоту запропоновано використання адаптивного режиму кодування та модуляції замість статичного. У якості вихідного набору обрано перелік АСМ режимів, що на даний момент використовуються у стандарті DVB-T2. Проведений аналіз показав надлишковість використання такого набору, тому запропоновано редукцію кількості режимів.

14. Запропоновано модифіковану методику оцінки ефективності телекомунікаційних технологій, яка доповнює відому методику оцінки ефективності систем передавання інформації проф. Зюко А.Г., не змінюючи її фізичної сутності, наступними новими можливостями:

- введення шкали узагальненої ефективності η для визначення її числових значень у діапазоні $0 < \eta \leq 1$;
- коректне відображення показників ефективності $\{\eta; \beta; \gamma\}$ на уніфікованій шкалі для дискретних та неперервних систем передачі в області, обмеженій межею Шеннона;
- доступність комплексної оцінки інформаційної ефективності різних систем на основі трьох показників інформаційної ефективності: енергетичної β , частотної γ та узагальненої η , які роблять таку оцінку більш об'єктивною.
- розширення діапазону параметрів, які відображаються при зміні вимог до достовірності P при оцінці інформаційної ефективності різних систем передавання інформації;

15. Приведено практично важливі приклади реалізації запропонованої методики, які мають прикладну цінність для дослідження систем передавання інформації на фізичному рівні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Uryvsky L. Productivity Increase of Multiservice Duplex System Using the DVB-T2 Standard / L. Uryvsky, A. Moshynska, A., S.Osypchuk // The Actual Problems of the World Today/ monograph. – London, SCIEEMCEE (2019) – P. 279-296. (Наукове фахове видання з технічних наук).
2. Uryvsky L. Internet Of Things Solutions Research And Development For Widespread Usage And Applications / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk // The Actual Problems of the World Today/ monograph. – London, SCIEEMCEE (2019) – P. 254-266. (Наукове фахове видання з технічних наук).
3. Уривский Л.А. Оценка производительности системы связи класса UMTS на основе модели Уолвиша –Икегами / Л.А. Уривский, А.В. Мошинская, М.С. Мусинова // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку : науково-виробничий збірник. – 2010. – № 4 (16). – С. 93–100. (Google scholar. Наукове фахове видання України).
4. Уривський Л.О. Модифікована методика оцінки ефективності систем передачі інформації / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, К.А. Прокопенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2010., № 6. – С.24-29. (WorldCat, Google Scholar, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO. Наукове фахове видання України).
5. Ильченко М.Е. Разграничение и слияние уровней эталонной модели взаимодействия для информационно-телекоммуникационных систем / М.Е. Ильченко, Л.А. Уривский, А.В. Мошинская // Кибернетика и системный анализ. – 2011., № 4. – С. 108-116. (SCOPUS, INSPEC, Google Scholar, EBSCO, ProQuest, Academic Search, CSA Environmental Sciences, EI-Compendex, Gale, INIS Atomindex, Summon by ProQuest. Наукове фахове видання України).
6. Уривський Л.О. Співвідношення пропускну́ї здатності і продуктивності систем передачі на базі технології UMTS / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, К.А. Прокопенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2011., № 1. – С. 7-12. (WorldCat, Google Scholar, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO. Наукове фахове видання України).
7. Мошинская А.В. Алгоритм оценки энергетического потенциала линии оптоволоконной связи / Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку : науково-виробничий збірник. – 2014., № 2(30). – С. 27-34. (Google Scholar. Наукове фахове видання України).
8. Uryvsky L. The methodology of information capabilities estimation for fiber-optics communication / L. Uryvsky, A. Moshynska // Information and Telecommunication Sciences, Volume 5, Number 1. – 2014., P. 62-65. (EBSCOhost, Engineering Village, ProQuest, STN International, Google Scholar, OpenAIRE, BASE. Наукове фахове видання України).
9. Уривський Л.О. Аналіз продуктивності заводо захищених систем передавання дискретної інформації / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.М. Вергун // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016., № 2. – С. 7-13. (WorldCat, Google Scholar, OpenAIRE, РІНЦ та EBSCO. Наукове фахове видання України).

10. Уривський Л.О. Аналіз можливостей організації мобільного зв'язку в умовах надзвичайних ситуацій на основі стандартів 802.11xx / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.О. Осипчук // Збірник наукових праць ВІПІ, № 1, 2019. – С.110-118. (Google Scholar. Наукове фахове видання України).
11. Uryvsky L. Selection of Signal-Code Sequences in IEEE 802.11 Equipment / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk // The scientific heritage, Budapest, Hungary. – № 17 2017, P.1. – P. 60-63. (Наукове фахове видання з технічних наук).
12. Ilchenko M. Developing of Telecommunication Strategies based on the Scenarios of the Information Community /М. Ilchenko, L. Uryvsky, A. Moshynska // Springer Science + Business Media, New York. – 2017, P. 905-913. (Наукове фахове видання з технічних наук).
13. Uryvsky L. The signal-code construction method with maximum approach to the communication channel throughput / L. Uryvsky, A. Moshynska, A. Pieshkin, D. Hriaznov // The scientific heritage, Budapest, Hungary. – № 22 2018, P.1. – P. 28-33. (Наукове фахове видання з технічних наук).
14. Osypchuk S. The effect of the features of signal code constructions forming on indicators of functionality and reliability of communication systems based on the 802.11 n/ac standards / S. Osypchuk, A. Moshynska, A.Pieshkin, B. Shmihel // Sciences of Europe, Praha, Czech Republic. - № 26 (2018), Vol.2. – P. 38-47. (Наукове фахове видання з технічних наук).
15. Uryvsky L. Comparison of methods for determining noise immunity indicators of a multiservice transmission system / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk, B. Shmihel //Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham, P. 167-185. (Наукове фахове видання з технічних наук).
16. Moshynska A. Resource estimation of data transmission digital channels in satellite communication systems / The scientific heritage, Budapest, Hungary. – № 33 2019, P.1. – P. 50-54. (Наукове фахове видання з технічних наук)
17. Uryvsky L. IoT solutions research and development for wide range applications / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk, V. Kyrashchuk // Sciences of Europe, Praha, Czech Republic. Vol.1, No 36 (2019). – P. 40-54. (Наукове фахове видання з технічних наук).
18. Uryvsky L. The simulation model for calculating the indicators of digital communication signals quality transmission / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk, D. Heorgin // The scientific heritage, Budapest, Hungary. – № 34 2019, Vol.1. – P. 21-31. (Наукове фахове видання з технічних наук).
19. Uryvsky L. Evaluation of the automatic power control effectiveness in radio communication systems ad-hoc / / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk // Danish scientific journal DSJ. – № 22 (2019), Vol.1. – P. 68-72. (Наукове фахове видання з технічних наук).
20. Uryvsky L. Analysis of properties of the wideband signals in the low energy conditions / L. Uryvsky, A. Moshynska, B. Shmihel // Sciences of Europe, Praha,

- Czech Republic. - № 37 (2019), Vol.1. – P. 60-63. (Наукове фахове видання з технічних наук).
21. Uryvsky L. Increasing the wireless systems information efficiency using LDPC coding / L. Uryvsky, A. Moshynska, S.Osypchuk // Information and Telecommunication Sciences, Volume 10, Number 1. – 2019.– P. 5-10. (EBSCOhost, Engineering Village, ProQuest, STN International, Google Scholar, OpenAIRE, BASE. Наукове фахове видання України).
 22. Uryvsky L. The ability to overcome the multipath factor in the radio channels of the microwave range based on OFDM technology / L. Uryvsky, A. Moshynska, B. Shmihel, V. Solianikova // The scientific heritage, Budapest, Hungary. – № 37 2019, Vol.1. – P. 51-55. (Наукове фахове видання з технічних наук).
 23. Уривський Л. О., Вергун С.М., Мошинська А.В., Осипчук С.А., Пешкін А.М. Спосіб досягнення максимальної продуктивності в дискретному каналі зв'язку із завадостійким кодуванням / Патент на корисну модель – Заявка № u201605457 від 20.05.2016.
 24. Урывский Л. А. Анализ применимости модели Уолвиша –Икегами для анализа системы с технологией UMTS / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская, М.С. Мусинова // Матеріали науково-практичного семінару молодих науковців : Вісник Українського науково-дослідного інституту зв'язку : науково-виробничий збірник, Україна, Київ. – 2010., № 1. – С. 23-27.
 25. Урывский Л. А. Свойства сигналов на основе ортогонального базиса Уолша, как инструментов многоканального доступа и средства повышения помехоустойчивости / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская, О.О. Аврамец // Матеріали науково-практичного семінару молодих науковців : Вісник Українського науково-дослідного інституту зв'язку : науково-виробничий збірник, Україна, Київ. – 2010., №2. – С. 25-28.
 26. Мошинская А.В. Методика оценки информационных возможностей канала спутниковой связи / А.В. Мошинская, И.О. Аврамец // Матеріали науково-практичного семінару молодих науковців : Вісник Українського науково-дослідного інституту зв'язку : науково-виробничий збірник, Україна, Київ. – 2010., №.2. – С.35-39.
 27. Урывский Л. А. Исследование информационных возможностей широкополосных и сверхширокополосных сигналов / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская // «Проблеми телекомунікацій»: четверта міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-10) 25-27 квітня 2010 р., Україна, Київ. – 2010. – С. 47.
 28. Урывский Л. А. Оценка пропускной способности цифровых каналов волоконно-оптических систем с технологией DWDM / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская // «Проблеми телекомунікацій»: п'ята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-11) 19-22 квітня 2011 р., Україна, Київ. – 2011. – С. 96.
 29. Урывский Л. А. Использование критериев многоуровневой оптимизации в задачах анализа мультисервисных телекоммуникационных систем / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская // «Проблеми телекомунікацій»: восьма

- міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-14) 22-25 квітня 2014 р., Україна, Київ. – 2014. – С. 477-481.
30. Урывский Л. А. Методика оценки качества цифрового сигнала / Л.А. Урывский, А.В. Мошинская // «Проблеми телекомунікацій»: дев'ята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-15) 21-24 квітня 2015 р., Україна, Київ. – 2015. – С. 68-71.
 31. Мошинская А.В. Синтез методики оценки качества цифрового сигнала / А.В. Мошинская, Д. А. Георгин // «Проблеми телекомунікацій»: десята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-16) 19-22 квітня 2016 р., Україна, Київ. – 2016. – С. 62-64.
 32. Moshynska A. Shaping the telecommunication strategies for multiservice system based on information society scenarios // International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo), Ukraine, Kyiv, 2016. – IEEE Xplore Digital Library. – P.1-4.
 33. Мошинская А.В. Анализ показателей качества цифрового сигнала / А.В. Мошинская, Д. А. Георгин // «Проблеми телекомунікацій»: одинадцята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-17) 18-21 квітня 2017 р., Україна, Київ. – 2017. – С. 54-56.
 34. Uryvsky L. Efficiency analysis of signal-code sequences selection algorithms on IEEE 802.11 equipment / L.Uryvsky, A. Moshynska, S. Osypchuk // V International scientific conference «Advanced Information Systems and Technologies» – НУ «Львівська політехніка», 2017, Україна, Львів. – 2017. – Р. 1-4.
 35. Uryvsky L. Analysis of digital signal quality indicators based on analytic and stochastic modeling / L.Uryvsky, A. Moshynska, S. Osypchuk // International Conference Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo),), Ukraine, Odessa, 2017. – IEEE Xplore Digital Library. – P. 1-4 .
 36. Uryvsky L. Applied research of Modulation-Coding Schemes selection algorithms effectiveness in 802.11 equipment / L.Uryvsky, A. Moshynska, S. Osypchuk // 4-th International Scientific-Practical Conference Problems of Info- communications Science and Technology (PIC S&T`2017), 2017, ХНУРЕ, Україна, Харків. – 2017. – Р. 20-25.
 37. Уривський Л.О. Декомпозиція процесів переходу від сценарію до стратегії передачі інформації у мультисервісній системі / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська // «Проблеми телекомунікацій»: дванадцята міжнародна науково-технічна конференція, присвячена дню науки в Україні (ПТ-18) 16-20 квітня 2018 р., Україна, Київ. – 2018. – С. 30-32.
 38. Ilchenko M. Empirical and analytical energy thresholds of Modulation-Coding Schemes research in IEEE 802.11n devices / M. Ilchenko, L.Uryvsky, A. Moshynska, S. Osypchuk // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectrronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Date of Conference: 20-24 Feb. 2018. Conference Location: Lviv-Slavske, Ukraine. – 2018. –. P. 991-994.

АНОТАЦІЯ

Мошинська А.В. **Стратегії передачі інформації в мультисервісних телекомунікаційних системах.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Інститут телекомунікаційних систем, Київ, 2020.

Дисертацію присвячено реалізації нових підходів оцінки ефективності сучасних мультисервісних телекомунікаційних систем. Вперше пропонується об'єднана концепція для відомих і перспективних технологій, пов'язаних з фундаментальним знанням (теорії інформації, теорії завадостійкості, теорії кодування), не втративши при цьому, напрацьованих специфічних особливостей відповідних інженерних методик.

Вирішується задача наукового обґрунтування процедур встановлення відповідності між комплексами вимог (Сценаріями) і способами забезпечення своєчасної та достовірної передачі масивів мультисервісної інформації (Стратегіями).

В цілому робота присвячена методології формування Телекомунікаційних стратегій Фізичного рівня на основі різноманітних Сценарних концепцій діючих і перспективних мультисервісних телекомунікаційних систем.

В роботі пропонується порівняння сучасних мультисервісних телекомунікаційних систем за показником інформаційної ефективності.

Ключові слова: побудова телекомунікаційних систем, сценарій, стратегія, мультисервісна телекомунікаційна система, інформаційна ефективність, LAN, MAN, WAN, завадостійкість, продуктивність, пропускна здатність.

АННОТАЦИЯ

Мошинская А.В. **Стратегии передачи информации в мультисервисных телекоммуникационных системах.** - Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.02 «Телекоммуникационные системы и сети». – Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Институт телекоммуникационных систем, Киев, 2020.

Диссертация посвящена реализации новых подходов оценки эффективности современных мультисервисных телекоммуникационных систем. Впервые предлагается объединенная концепция для известных и перспективных технологий, связанных с фундаментальным знанием (теории информации, теории помехоустойчивости, теории кодирования), не потеряв при этом, наработанных специфических особенностей соответствующих инженерных методик.

Решается задача научного обоснования процедур установления соответствия между комплексами требований (Сценариев) и способами обеспечения своевременной и достоверной передачи массивов мультисервисной информации (Стратегии).

В целом работа посвящена методологии формирования телекоммуникационных стратегий Физического уровня на основе различных сценарных концепций действующих и перспективных мультисервисных телекоммуникационных систем.

В работе предлагается сравнения современных мультисервисных телекоммуникационных систем по показателю информационной эффективности.

Ключевые слова: построение телекоммуникационных систем, сценарий, стратегия, мультисервисная телекоммуникационная система, информационная эффективность, LAN, MAN, WAN, помехоустойчивость, производительность, пропускная способность.

ABSTRACT

Moshynska A. Information transmission strategies in multiservice telecommunication systems. - manuscript.

Dissertation for the Doctor of Science Degree in specialty 05.12.02 "Telecommunication Systems and Networks". – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Institute of Telecommunication Systems, Kiev, 2020.

The dissertation is devoted to the implementation of new approaches to assessing the efficiency of modern multiservice telecommunication systems. For the first time, a unified concept for well-known and promising technologies related to fundamental knowledge (information theory, noise immunity theory, coding theory) is proposed, without losing the specific features of the relevant engineering techniques.

As the amount of information increases and the time of information transfer decreases, the problem of information transfer with modern technologies is to minimize the time of information processing, transportation and delivery.

Accordingly, in the information community, there is a conflict between the needs of users (service scenarios for transferring information) and the resources that can provide the delivery of services - telecommunications - to implement such scenarios.

The scientific substantiation problem of procedures for establishing the correspondence between sets of requirements (Scenarios) and ways of ensuring timely and reliable transmission of multiservice information arrays (Strategies) is solved.

The methodological basis of the Telecommunication Strategies at the Physical level is formed. It is built on the solution of the fundamental contradiction between performance and reliability: speeding up the transmission of information flows at

given resources inevitably leads to loss of reliability. The use of tools to maintain the necessary reliability will inevitably result in a loss of productivity.

Criteria and indicators of evaluation of multiservice telecommunication systems according to the proposed concept are defined. The requirements for the reliability and maximum speed of signal transmission (to ensure conditions of timely delivery) are contradictory at the level of the basic argument h^2 of the $P(h^2)$.

Strategies for transmitting information on LAN, MAN, WAN networks are proposed. Experimental data, which were first obtained as a functional of the traditional analytical energy parameter h^2 , are presented, converting a heuristic algorithm to make decisions about changing the SCS type based on the operation of the error counter. This result is the basis for comparing channel resources using the algorithms implemented in IEEE 802.11n devices, as well as the recommendations obtained from analytical research.

The modified technique of telecommunication technologies efficiency estimation is offered, which complements the known estimation technique for efficiency of information transmission systems, proposed by prof. Zyuko A., without changing its physical essence, with the following new features:

- introduction of the generalized efficiency scale η to determine its numerical values in the range $0 < \eta \leq 1$;
- correct display of performance indicators $\{\eta; \beta; \gamma\}$ on a uniform scale for discrete and continuous transmission systems in the area bounded by the Shannon boundary;
- the availability of a comprehensive assessment of the information efficiency of different systems based on three indicators of information efficiency: energy β , frequency γ , and generalized η , which make this assessment more objective.
- expanding the range of parameters that are displayed when changing the requirements for the reliability of P when evaluating the information efficiency of different systems of information transmission.

The results of organization of the transport component of a point-to-point network using means of information transmission based on IEEE 802.11xx standards, relaying of signal on the basis of several point-to-point lines, and distribution of information flows at relay points; development of construction principles for a multilevel adaptive wireless sensor network with mobile sensors are presented in the paper.

Keywords: construction of telecommunication systems, scenario, strategy, multiservice telecommunication system, information efficiency, LAN, MAN, WAN.